

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**  
**ELABORACIÓN DE UNA PRÁCTICA RECOMENDADA EN PROCESOS**  
**DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES FERROSOS Y NO**  
**FERROSOS PARA LOS EQUIPOS DE LABORATORIO DE LA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**AUTORES:**  
**FAVIO JOEL SILVA QUINTERO**  
**VICTOR EDUARDO IDROVO TITUAÑA**

**TUTOR:**  
**MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

**Quito, marzo del 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros Favio Joel Silva Quintero, con documento de identificación N°0804420800 y Victor Eduardo Idrovo Tituaña, con documento de identificación N°1751452077 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ELABORACIÓN DE UNA PRÁCTICA RECOMENDADA EN PROCESOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES FERROSOS Y NO FERROSOS PARA LOS EQUIPOS DE LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

-----  
Favio Joel Silva Quintero  
C.I. 0804420800

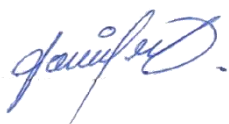
-----  
Victor Eduardo Idrovo Tituaña  
C. I. 1751452077

Quito, marzo del 2021

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, ELABORACIÓN DE UNA PRÁCTICA RECOMENDADA EN PROCESOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES FERROSOS Y NO FERROSOS PARA LOS EQUIPOS DE LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, realizado por Favio Joel Silva Quintero y Victor Eduardo Idrovo Tituaña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2021



-----  
Milton Salomón Jami Lema

C.I.: 1707254171

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

Dedico este Trabajo de Titulación a mis padres por todo el apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de mi vida académica cuya perseverancia y esfuerzo constante en aconsejarme para mantenerme firme y seguir adelante sin rendirme, lo que da como resultado grandes metas que dejan grandes enseñanzas.

Primero, agradezco a Dios por mantenerme con salud durante mi etapa académica y ser guía primordial de mi vida; agradezco a mis padres que, a pesar de todas las malas situaciones, ellos siempre me brindaron todo su apoyo y se esforzaron en darme lo necesario para que yo consiga lograr mis objetivos; de igual manera agradezco a mis familiares y amigos que con su contribución y ayuda fueron importantes para la culminación de este trabajo de titulación. Agradezco a mi amigo, Victor Idrovo por brindarme su amistad que se fue fortaleciendo a lo largo de los años; y, por último, quiero agradecer a mi Tutor Milton Jami por todos los conocimientos impartidos que fueron de gran importancia para el Trabajo de Titulación.

***Favio Joel Silva Quintero***

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi familia y amigos, por enseñarme a ser una persona perseverante y responsable, por brindarme todo el apoyo que podían ofrecerme y las grandes enseñanzas aprendidas durante todo este tiempo que hemos compartido, por ser una parte fundamental en mi vida para permitirme llegar hasta aquí.

Agradezco a mi compañero, Favio Silva, por todo el apoyo incondicional brindado antes y durante la elaboración de este trabajo; a mis padres Victor Idrovo y María Tituaña que han realizado un gran sacrificio para poder estar presente en la culminación de mis estudios; a mi Tutor Ingeniero Milton Jami por ayudarnos con la recomendación y la selección del tema del trabajo de titulación junto con las enseñanzas impartidas; al Ingeniero Estaban Ramirez por la guía y conocimientos impartidos durante la elaboración de las practicas recomendadas y, finalmente, a todas las personas que invirtieron un poco de su tiempo para ayudarme a formarme como profesional.

***Victor Eduardo Idrovo Tituaña***

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
GLOSARIO .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1. Metalografía .....	3
1.1 Antecedentes investigativos .....	3
1.2 Ensayo metalográfico .....	4
1.2.1 Montaje de probetas metalográficas .....	4
1.2.2 Probetas metalográficas .....	5
1.2.3 Normas y método de comparación de la estructura metalográfica.....	5
1.2.4 Caracterización metalográfica .....	6
1.3 Metales ferrosos .....	7
1.3.1 Hierro forjado .....	8
1.3.2 Aceros .....	8
1.3.3 Clasificación de los aceros según clases de aleados .....	9
1.3.4 Aceros al carbono .....	9
1.3.5 Clasificación de los aceros según el contenido de carbono .....	10
1.3.6 Fundiciones.....	11
1.3.7 Hierro gris .....	11
1.3.8 Hierro dúctil.....	11

1.3.9 Hierro maleable.....	11
1.3.10 Aceros inoxidable.....	12
1.3.11 Aceros inoxidable austeníticos.....	12
1.3.12 Aceros inoxidable ferríticos .....	13
1.3.13 Aceros inoxidable martensíticos .....	13
1.4 Metales no ferrosos .....	14
1.4.1 Aleaciones de aluminio.....	14
1.4.2 Aleaciones de forja .....	14
1.4.3 Aleaciones de fundición.....	15
1.4.4 Aleaciones de cobre .....	15
1.4.5 Aleaciones de estaño.....	16
1.4.6 Aleaciones de zinc .....	16
1.4.7 Aleaciones de titanio.....	17
1.5 Corte abrasivo.....	17
1.5.1 Máquinas cortadoras .....	18
1.5.2 Sustancias abrasivas.....	18
1.5.3 Discos abrasivos .....	19
1.6 Tipos de grano .....	19
1.6.1 Abrasivo alúmina.....	19
1.7 Pulidora metalográfica.....	20
1.7.1 Desbaste .....	20
1.7.2 Tipos de desbaste .....	21
1.7.2.1 Desbaste grosero.....	21
1.7.2.2 Desbaste intermedio.....	21
1.7.2.3 Desbaste final.....	21
1.7.3 Tipos de pulido .....	22
1.7.3.1 Pulido mecánico.....	22

1.8 Espectrómetro.....	22
1.9 Microscopio metalográfico.....	23
CAPÍTULO II.....	24
FORMATO PARA EL SEGUIMIENTO DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS RECOMENDADAS PARA EL LABORATORIO DE METALOGRAFÍA.....	24
2. Guía de práctica recomendada para la máquina de corte .....	24
2.1 Guía de práctica recomendada para el espectrofotómetro.....	33
2.2 Guía de práctica para máquina encapsuladora .....	40
2.3 Guía de práctica recomendada para el ensayo metalográfico .....	49
2.4 Guía de práctica recomendada para el horno de temple y revenido.....	64
CAPÍTULO III.....	73
RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SEGUIMIENTO REALIZADO A LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE METALOGRAFÍA.....	73
3. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el proceso de corte automático en metales ferrosos y no ferrosos.....	73
3.1 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía en el espectrofotómetro para metales ferrosos .....	77
3.2 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para la prensa de montaje con metales ferrosos y no ferrosos .....	81
3.3 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el ensayo metalográfico con metales ferrosos y no ferrosos .....	86
3.4 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el ensayo de dureza en metales ferrosos de temple y revenido .....	93
CAPÍTULO IV .....	98
COSTOS .....	98
4. Costos de los ensayos metalográficos .....	98
4.1 Análisis financiero del proyecto .....	102
4.1.1 Valor actual neto (VAN) .....	102
4.1.2 Tasa interna de retorno (TIR) .....	103
4.1.3 Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	104

CONCLUSIONES .....	105
RECOMENDACIONES .....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS	



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ensayos metalográficos para probetas .....	4
Figura 2. Sentido de desbaste para pasar de una lija a otra .....	5
Figura 3. Tamaño del grano según el grado de comparación.....	6
Figura 4. Diagrama de fase hierro-carbono .....	8
Figura 5. Resistencia a la tensión y dureza en un carbono al acero simple .....	10
Figura 7. Cortadora Buehler IsoMet High Speed, .....	17
Figura 8. Desbastadora-pulidora automática/manual EcoMet 30.....	20
Figura 9. (a) Rayaduras puntuales y (b) Rayaduras concéntricas .....	22
Figura 10. Espectrómetro de emisión óptica HITACHI .....	23
Figura 11. Microscopio invertido Buehler ViewMet .....	23
Figura 12. Probeta de aluminio Prodax .....	25
Figura 13. Probeta de acero AISI 1018 .....	25
Figura 14. Probeta de bronce fosfórico SAE 40 .....	26
Figura 15. Cortadora Metalográfica de alta velocidad.....	26
Figura 16. Mandril de una montura para cortadora automática .....	27
Figura 17. Sujeción de la probeta con el mandril de una montura .....	27
Figura 20. Menú del avance del disco abrasivo en in/min.....	30
Figura 21. Menú principal de la pantalla de inicio de la cortadora metalográfica ....	30
Figura 22. Extracción de la probeta del mandril de una montura.....	31
Figura 23. Proceso de corte metalográfico para probetas .....	31
Figura 24. Probeta de acero AISI 1018 para análisis de composición química.....	34
Figura 25. Espectrofotómetro OXFORD INSTRUMENTS.....	34
Figura 26. Compartimento donde se encuentra la bomba de vacío .....	35
Figura 27. Menú del programa del espectrofotómetro para la selección del grupo a que pertenece el metal .....	36
Figura 28. Probeta en el sujetador de muestras del espectrofotómetro.....	36
Figura 29. Puntos de medida en la superficie inferior de la probeta .....	37
Figura 30. Probetas para el encapsulado de los siguientes materiales: a. Bronce fosfórico SAE 40, b. Aluminio Prodax, c. Acero AISI 1018 .....	41
Figura 31. Máquina encapsuladora en caliente para moldes .....	41
Figura 32. Compuesto de montaje PhenoCure.....	43
Figura 33. Panel de control de la prensa de montaje automática SimpliMet 4000 ...	43

Figura 34. Probeta de bronce fosfórico SAE 40 en el pistón inferior .....	44
Figura 35. Descenso del pistón inferior .....	44
Figura 36. Medición de la longitud total de la muestra encapsulada .....	45
Figura 37. Llenado del compuesto de montaje.....	45
Figura 38. Compuerta del molde bloqueada.....	46
Figura 39. Muestra encapsulada en el pistón inferior.....	47
Figura 40. Encapsulado de probetas de a. Acero AISI 1018, b. Aluminio Prodax, c. Bronce fosfórico SAE 40 .....	47
Figura 41. Banco de lijas del laboratorio de metalografía .....	50
Figura 42. Probetas encapsuladas para el proceso de pulido automático .....	50
Figura 43. Retenedor de vanguardia rango 1 in / 25 mm.....	51
Figura 44. Alúmina Alfa 1 Micrómetro .....	51
Figura 45. Máquina de pulido semiautomático Buehler EcoMet 30 .....	52
Figura 46. Nitales para ataque químico de metales .....	53
Figura 47. Microscopio invertido Buehler ViewMet .....	53
Figura 48. Lijas adhesivas de 8 in de diámetro para la pulidora semiautomática .....	54
Figura 49. Probeta encapsulada con retenedor de vanguardia .....	55
Figura 50. Ingreso de la probeta encapsulada en el porta muestras .....	56
Figura 51. Botones para el accionamiento de los pistones y descenso del porta muestras .....	56
Figura 52. Pulido de probetas en pulidora semiautomática de doble plato .....	57
Figura 53. Movimiento de la probeta encapsulada en el banco de lijas.....	58
Figura 54. Máquina pulidora semiautomática con paño adhesivo.....	58
Figura 55. Ataque químico de la probeta del acero AISI 1018.....	60
Figura 56. Superficies de las probetas con el desbaste grueso de los metales: a. Bronce fosfórico SAE 40, b. Aluminio Prodax, c. Acero AISI 1018 .....	60
Figura 57. Pulido fino en la superficie de las probetas .....	61
Figura 58. Pulido en paño en la superficie de las probetas.....	61
Figura 59. Ataque químico en cada una de las probetas .....	61
Figura 60. Microestructura metalográfica del acero AISI 1018 .....	62
Figura 61. Microestructura metalográfica del aluminio Prodax .....	62
Figura 62. Microestructura metalográfica del bronce fosfórico SAE 40.....	62

Figura 63. Probetas de acero: a. Probeta de acero AISI O1 K460, b. Probeta de acero AISI 4340 .....	65
Figura 64. Horno para temple.....	65
Figura 65. Horno de revenido.....	66
Figura 66. Máquina para medir la dureza de los metales .....	66
Figura 67. Ingreso de las probetas de acero al horno precalentado .....	67
Figura 68. Salida de las probetas de acero del horno de temple .....	67
Figura 69. Probetas sumergidas en el compartimento aceite DURIXOL W 25 .....	68
Figura 70. Posición de la probeta y sentido de giro para la medición de dureza.....	68
Figura 71. Ingreso de las probetas a la cámara del horno de revenido .....	69
Figura 72. Proceso de enfriamiento a temperatura ambiente de las probetas .....	69
Figura 73. Probetas de acero con ensayo de temple. Izquierda: Acero AISI O1 K460, Derecha: Acero AISI 4340.....	70
Figura 74. Probetas de acero con ensayo de revenido. Izquierda: Acero AISI O1 K460, Derecha: Acero AISI 4340.....	70
Figura 75. Datos obtenidos del análisis del acero AISI 1018 en el espectrofotómetro .....	79
Figura 76. Panel de control de la prensa de montaje automática SimpliMet 4000 ...	82
Figura 77. Vertido del PhenoCure en el compartimento de la muestra .....	83
Figura 78. Encapsulado de las probetas de acero AISI 1018, aluminio Prodax, bronce fosfórico SAE 40 .....	85
Figura 79. Guía de movimiento para el pulido fino en el banco de lijas .....	89
Figura 80. Ataque químico de la probeta de bronce fosfórico SAE 40 .....	90
Figura 81. Pulido en paño en la superficie de la probeta de aluminio Prodax.....	91
Figura 82. Microestructura metalográfica del acero AISI 1018 .....	91
Figura 83. Templado de probeta con aceite DURIXOL W 25.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos básicos y características del elemento metálico del hierro .....	7
Tabla 2. Tipos y composiciones de hierro fundido .....	12
Tabla 3. Tipos y composiciones de aceros inoxidables .....	13
Tabla 4. Composiciones y propiedades mecánicas de aleaciones de cobre .....	15
Tabla 5. Composiciones de resistencia a la tracción y aplicaciones de aleaciones de zinc seleccionadas .....	16
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la máquina de corte Buehler IsoMet High Speed .....	26
Tabla 7. Cuchillas abrasivas para cortadora automática IsoMet.....	28
Tabla 8. Parámetros para velocidades de corte y avance de la cortadora .....	28
Tabla 9. Porcentaje nominal del acero AISI 1018 .....	37
Tabla 10. Resultados de las tres medidas de la composición química del material..	38
Tabla 11. Comparación de los componentes del acero AISI 1018 .....	38
Tabla 12. Especificaciones de la máquina encapsuladora Buehler SimpliMet 4000	42
Tabla 13. Parámetros recomendados para muestras con diámetro de 1 in y 25 mm	46
Tabla 14. Especificaciones de la pulidora semiautomática Buehler EcoMet 30 .....	52
Tabla 15. Numeración y característica del microscopio ViewMet Buehler .....	54
Tabla 16. Método de preparación para desbaste grueso uso general .....	55
Tabla 17. Método para preparación de pulido en paño para probetas de metales en general .....	59
Tabla 18. Reactivos para ataque químico en metales ferrosos y no ferrosos.....	59
Tabla 19. Promedio de las durezas en HRC de los metales ferrosos .....	71
Tabla 20. Promedio de las durezas de templado de aceros en HRC .....	71
Tabla 21. Promedio de las durezas de revenido de aceros en HRC .....	71
Tabla 22. Disco abrasivo para cortadora automática IsoMet.....	74
Tabla 23. Parámetros óptimos de velocidad y avance para la máquina cortadora....	75
Tabla 24. Comparación de la composición química del material del ensayo y bajo norma.....	80
Tabla 25. Parámetros de montaje para muestras con diámetro de 1 in .....	84
Tabla 26. Parámetros de operación para desbaste grueso en metales de uso general	88
Tabla 27. Valores de operación para el pulido en paño para metales ferrosos y no ferrosos.....	89

Tabla 28. Reactivos para ataque químico en superficie de probetas de metales ferrosos y no ferrosos.....	90
Tabla 29. Durezas en HRC del acero AISI O1 K460 y acero AISI 4340 .....	96
Tabla 30. Costos para la práctica de corte automático.....	98
Tabla 31. Costos para el ensayo de la composición química de metales ferrosos ....	99
Tabla 32. Costos para el ensayo de encapsulado por compresión .....	99
Tabla 33. Costos para la preparación de muestra metalográfica.....	100
Tabla 34. Costos para el ensayo de temple y revenido .....	101
Tabla 35. Costos totales .....	101
Tabla 36. Cálculo del VAN con $i=10\%$ .....	103
Tabla 37. Cálculo del TIR.....	104
Tabla 38. Periodo de recuperación.....	104

## GLOSARIO

- **Baquelita:** Plástico sintético con propiedades dieléctricas producido a partir de la condensación entre el fenol y el formaldehído para la compresión de materiales según el compuesto de montaje en caliente y en frío [1].
- **Encapsuladora:** La máquina encapsuladora también conocida como prensa de montaje se utiliza para convertir pequeños fragmentos o ejes de cualquier material en muestras para procesos de pulido y amolado [2].
- **Espectrometría:** La tecnología para medir la distorsión e ionización por láser para el análisis de la composición química de metales con la absorción atómica de masas con fuentes de plasma que emite el medidor de ondas espectrales [3].
- **Granos abrasivos:** Los granos abrasivos se utilizan para generar acabados en la superficie de los metales con un abrasivo de uso general que es de carburo de silicio, las estructuras monocristalinas favorecen a los aglomerantes con mayor dureza [4].
- **Material de ligadura:** Es una característica que se presenta en los discos de corte abrasivo según la propiedad del soporte del material para mantener o retirar las sustancias abrasivas en el metal y estas pueden ser suaves o duras [5].

## RESUMEN

El objetivo del proyecto fue la elaboración de una práctica recomendada para la caracterización de metales ferrosos y no ferrosos para los equipos de laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, donde se realizó guías con procesos de operación bajo norma de cada ensayo.

Se obtuvo muestras metalográficas, a partir de diferentes operaciones, de las cuales se inició con un procedimiento de corte para el acero AISI 1018, bronce fosfórico SAE 40 y aluminio Prodax, según la norma ASTM E3-95 con la máquina IsoMet High Speed, variando parámetros de velocidad y tiempo a modo de iteración.

Se realizó la caracterización de metales mediante una comparativa entre resultados de la práctica y datos estandarizados. En el equipo Foundry-Master Xpert, se determinó la composición química del acero AISI 1018 con sus componentes principales, tales como: azufre, carbono, hierro y manganeso, mediante la espectrometría según la norma ASTM E350. Para la estructura metalográfica se utilizó el microscopio ViewMet con un aumento óptico de 20x bajo la norma ASTM E1351-96, como también se aplicó el procedimiento del ataque químico según la norma ASTM E407-99 para las muestras obtenidas a partir del proceso de pulido. En la medición de dureza para las probetas de acero AISI O1 K460, acero AISI 4340 sometidos a temple y revenido, se usó el durómetro Phase II bajo norma ASTM E18-03.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios porque se cumplió con los estándares especificados de cada norma en conjunto con los manuales de operación para el desarrollo de la práctica de laboratorio.

**Palabras clave:** ataque químico, caracterización de metales, dureza, espectrofotómetro, probetas metalográficas, revenido, temple.

## ABSTRACT

The objective of the project was the elaboration of a recommended practice for the characterization of ferrous and non-ferrous metals for the laboratory equipment of the Salesian Polytechnic University, where guides were made with operating processes under the standard of each test.

Metallographic samples were obtained from different operations, of which a cutting procedure was started for AISI 1018 steel, SAE 40 phosphor bronze and Prodax aluminum, according to the ASTM E3-95 standard with the IsoMet High Speed machine, varying speed and time parameters as iteration.

The characterization of metals was carried out by means of a comparison between the results of the practice and standardized data. In the Foundry-Master Xpert equipment, the chemical composition of AISI 1018 steel with its main components, such as: sulfur, carbon, iron and manganese, was determined by spectrometry according to the ASTM E350 standard. For the metallographic structure, the ViewMet microscope was used with an optical magnification of 20x under the ASTM E1351-96 standard, as well as the chemical etching procedure according to the ASTM E407-99 standard for the samples obtained from the polishing process. In the measurement of hardness for the AISI O1 K460 and AISI 4340 steel specimens subjected to quenching and tempering, the Phase II durometer was used under the ASTM E18-03 standard.

The results obtained were satisfactory because the specified standards of each standard were met in conjunction with the operation manuals for the development of the laboratory practice.

**Keywords:** chemical attack, metal characterization, hardness, spectrophotometer, metallographic specimens, tempering, quenching.



## INTRODUCCIÓN

En el Capítulo I, se habla sobre los tipos y características que tienen los metales ferrosos y no ferrosos que son esenciales para conocer la diferencia entre sus propiedades mecánicas para tomar en cuenta los niveles de operación que reacciona cada metal en procesos de caracterización de metales, así como los tipos de desbaste y pulido para los ensayos metalográficos junto con una descripción de cada equipo que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

En el Capítulo II, se identifica los distintos tipos de normas que se recomiendan para elaborar las prácticas de laboratorio con niveles de operación esenciales para el funcionamiento de cada equipo que sirven para los procesos de corte, espectrometría, encapsulado, desbaste, pulido, ataque químico y dureza de temple y revenido para metales ferrosos y no ferrosos.

En el Capítulo III, se elabora las prácticas de laboratorio modificando los datos puntuales obtenidos de cada proceso que se realizó en el laboratorio de metalografía para la caracterización de metales ferrosos y no ferrosos para concretar todos los materiales y equipos que se necesita para que las guías de los ensayos sean de manera más dinámica y acorde al tiempo real que se necesita para realizar cada práctica.

En el Capítulo IV, se calcula los costos de cada práctica incluyendo los equipos necesarios para la caracterización de los metales y en base a datos obtenidos de las norma y manuales de operación de los equipos, se elabora una práctica de laboratorio general adaptada para la obtención de un ensayo metalográfico que comprende las prácticas de corte, pulido y montaje por compresión, como también la medición de dureza y espectrometría.

El objetivo general consiste en elaborar una práctica recomendada en procesos de caracterización de materiales ferrosos y no ferrosos para los equipos de laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar la composición química de los materiales ferrosos y no ferrosos seleccionados para este estudio.
- Determinar los parámetros de preparación de la muestra metalográfica de materiales ferrosos y no ferrosos.
- Determinar el proceso de revelado de microestructura de los materiales ferrosos y no ferrosos.
- Establecer el proceso de observación microscópica de los materiales ferrosos y no ferrosos seleccionados para el estudio.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1. Metalografía**

La metalografía es la ciencia que estudia las características de la estructura microscópica en la superficie de un metal y en este procedimiento se determina parámetros en el tamaño de grano, la distribución de las fases y las formas que estas tienen entre los distintos átomos de hierro y carbono presentes en los metales para el estudio metalográfico del material, en base a este estudio se determina si un metal satisface las especificaciones técnicas que se requieran [6].

En la industria de la metalurgia el acero es uno de los materiales de fabricación y construcción más versátiles ampliamente usado, por lo que existen actividades industriales en las que el acero al carbono logra cumplir con las necesidades de las mismas, a ejemplo de ello se tiene la fabricación automotriz, aeronáutica, marítima, espacial, entre otros. Se requieren de materiales que presenten características físicas mecánicas apropiadas, que los hagan aptos para soportar grandes esfuerzos, elevadas presiones [6].

#### **1.1 Antecedentes investigativos**

A lo largo de la historia los metales fueron adquiriendo mayor protagonismo en la vida de las comunidades por un proceso de sustitución de otras materias primas para la elaboración de adornos, herramientas o armas. Este proceso sustitutorio se consolida cuando se reconocen las ventajas del metal frente a esos otros materiales. Como hemos visto en capítulos anteriores, el uso inicial de cada uno de los metales y aleaciones no tiene relación con las mejores prestaciones funcionales que posteriormente tendrá ese metal. Sus ventajas se aplicarán progresivamente cuando hayan sido identificadas, experimentadas y valoradas [7]

La experiencia acumulada en el tiempo permitió ir fijando qué metal o aleación era más adecuado para cada tipo de objeto según su función. Sin embargo, en los periodos más antiguos no es siempre posible identificar cuál fue esa norma. Un aspecto para tener en cuenta en la valoración de la aleación elegida para la manufactura de un objeto

es que la deducción de la función que realizamos a partir de la propia forma del objeto no siempre fue la función principal [7].

Los metales pueden deformarse en frío sin romperse, son dúctiles y maleables, pudiendo estirarse en láminas o en hilos, lo que les permite adoptar formas diferentes. Inicialmente los fragmentos de metal nativo empezaron a trabajarse mediante la percusión y presión en frío habitual en la talla lítica donde el trabajo de percusión constituye lo que denominamos forja en frío [7] [8].

## **1.2 Ensayo metalográfico**

Para el ensayo metalográfico como se representa en la figura 1, se debe conocer la diversidad de parámetros y características para conocer la microestructura en la superficie de la probeta, así como el tamaño de grano y la distribución con las fases para determinar su estudio en el porcentaje de inclusiones no metálicas, heterogeneidades, y segregaciones que tan profundamente pueden modificar las propiedades y el comportamiento de un metal [9].



**Figura 1.** Ensayos metalográficos para probetas, Fuente: SIMET.

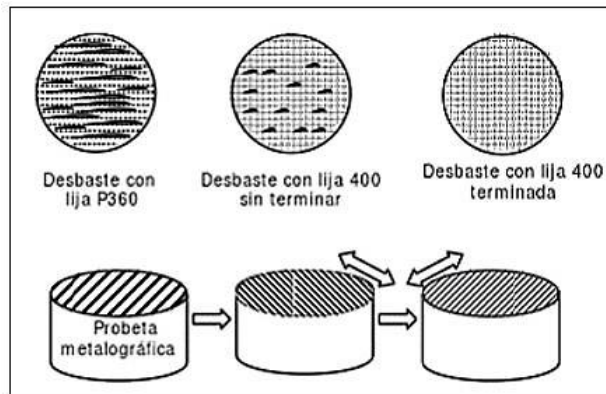
### **1.2.1 Montaje de probetas metalográficas**

El montaje de la probeta y la extracción de la muestra es un factor determinante para el análisis de la estructura microscópica del material, debido a que es un paso muy importante ya que de éste depende el correcto desenvolvimiento hasta llegar a obtener los resultados deseados de todo el procedimiento que involucra realizar el análisis de la microestructura de la muestra metalográfica [9].

Para el correcto montaje de probetas se determina que en algunos casos en los que la muestra tiene un tamaño considerable facilita su manipulación durante la preparación para realizar el montaje en porta muestras de pulidoras automáticas [9].

### 1.2.2 Probetas metalográficas

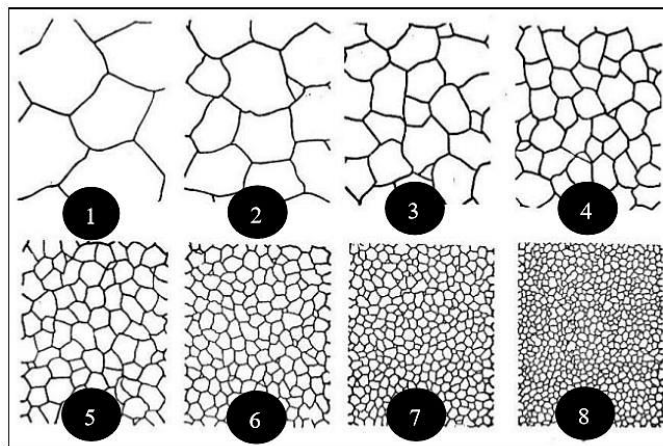
Para las probetas metalográficas antes de llegar a su proceso de visualización a través del microscopio se realiza un proceso de lijado seguido de un ataque químico para corregir algún tipo de imperfecciones o pequeñas rayaduras que no tengan ningún tipo de relación con la estructura real del acero, es así como uno de los factores más importantes que influyen sobre el método de preparación de las muestras es el cuidado con que se debe manejar durante todo el proceso, en la figura 2 se representa los acabados superficiales del desbaste grueso cuando se pasa de una lija a otra [10].



**Figura 2.** Sentido de desbaste para pasar de una lija a otra [10].

### 1.2.3 Normas y método de comparación de la estructura metalográfica

El método de comparación para la caracterización según el material de la probeta forma parte de simples factores sencillos, pero no tan precisos, sin embargo, no deja de ser el más confiable porque realiza una diferencia y compara entre cada microestructura que se visualiza en el microscopio y se enfoca en identificar el tamaño de grano para efectuar un resultado que se eligen según una norma y el mejor ajuste a la figura capturada de la muestra en la pantalla. Para la selección en la medición según el tamaño de grano se debe seleccionar de acuerdo con la norma ASTM E112 con su numeración respectiva en el tipo de serie que elige desde el número 1 y termina en el número 8, siendo el número 1 el tamaño de grano más grande y el número 8 el tamaño de grano más pequeño como se representa en la figura 3 [10].



**Figura 3.** Tamaño del grano según el grado de comparación [10].

#### 1.2.4 Caracterización metalográfica

El análisis metalográfico es el estudio microscópico de un material donde se puede visualizar su microestructura y las fases cristalinas presentes, para que el análisis metalográfico refleje resultados confiables es imprescindible realizar una adecuada preparación de las muestras, de acuerdo con lo enunciado en la norma ASTM E3.

Para la preparación de las muestras es necesario que la probeta tenga una superficie plana, para remover todas las imperfecciones y mantener un lijado constante desde una lija rugosa hasta una lija más lisa capaz de mantener visible la superficie de ataque de la probeta. Es importante mencionar que, para observar la verdadera microestructura, es necesario efectuar un ciclo de pulido-ataque [11].

Para las muestras y su preparación se clasifica en los siguientes pasos:

- a) Toma de muestras: se toma una muestra representativa del material a ser examinado y su obtención se realiza por medio de corte con sierras y equipo de corte diseñado para tal fin.
- b) Desbaste grosero: se realiza con papel abrasivo grueso y su objetivo es eliminar las irregularidades de la superficie de la probeta como defectos de corte.
- c) Desbaste intermedio y final: este proceso se realiza en mesas de pulido y su objetivo es eliminar las rayas ocasionadas por el desbaste grosero.

- d) Pulido: el pulido consiste en eliminar las rayas ocasionadas por el desgaste final y se lleva a cabo por medio de paños en los cuales se deposita polvo abrasivo usando dispositivos giratorios semi o automáticos.

### 1.3 Metales ferrosos

El grupo de los ferrosos puede subdividirse en aceros y tipos de hierro colado, donde los metales ferrosos se basan en el hierro, uno de los metales más antiguamente conocidos por el hombre y a su vez estos metales poseen una gran importancia en la ingeniería para aleaciones de hierro y carbono.

Las categorías del metal forjado mejora las propiedades mecánicas que los otros procedimientos de aplicación como el metal fundido, en esta variedad el proceso de pulverizado se adquiere en forma de polvo fino para que pueda ser procesado mediante otras técnicas metalúrgicas especiales para ello [12].

En la tabla 1 se puede identificar al hierro con algunas de sus características principales como sus elementos de aleación y su temperatura de fusión.

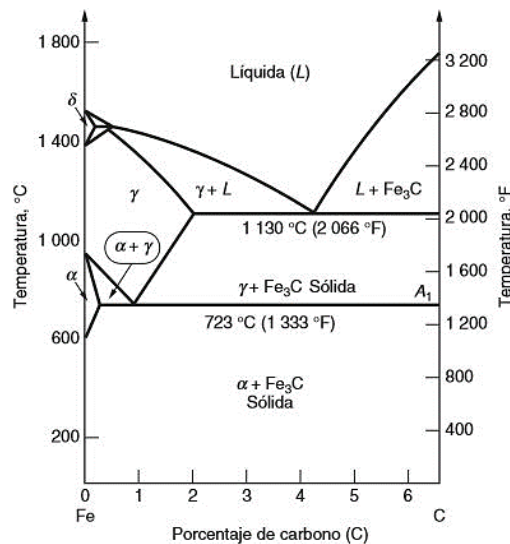
**Tabla 1. Datos básicos y características del elemento metálico del hierro**

Tipo	Características
Símbolo	Fe
Estructura cristalina	BCC
Temperatura de fusión	1539 °C (2802 °F)
Módulo de elasticidad	209000 MPa ( $30 \times 10^6$ lb/in <sup>2</sup> )
Mineral principal	Hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Elementos de aleación	Carbono, cromo, manganeso, níquel, molibdeno, vanadio y silicio.

Tabla de valores del elemento básico del hierro, Fuente: Fundamentos de manufactura moderna 5ta Edición.

### 1.3.1 Hierro forjado

El hierro forjado está constituido por un mínimo porcentaje de carbono y posee 3% de escoria en toda la estructura del material, el forjado en caliente es el proceso convencional para dar forma al material. En su operación a través de la transformación en una fase sólida por la que pasa el hierro puro a través de su temperatura ambiente, se tiene en cuenta la ferrita en su periodo de la fase alfa. La fase gamma que se denomina austenita llega a su transformación a partir de que la ferrita alcance su temperatura a 912°C. Para pasar a fase delta la austenita debe llegar a temperatura elevada de 1394°C hasta su punto de fundición. Entre las tres fases el alfa y delta poseen una estructura BCC, y gamma con una estructura FCC [12].



**Figura 4.** Diagrama de fase hierro-carbono [12].

En la figura 4 se puede identificar la cantidad de carbono dentro de un elemento que influye para mejorar las propiedades del acero, pero tiene una limitación y este se modifica desde la austenita que debe estar menor al 2% de su solubilidad máxima. Además del carbono se añaden otros aleantes que permiten adaptar sus propiedades para responder a un abanico muy amplio de solicitudes [13].

### 1.3.2 Aceros

En los aceros de acuerdo con su composición existen diversos criterios para dividirlos según sus aplicaciones de operación, entre ellos varía según la calidad del material y su periodo de confiabilidad para realizar trabajos a elevadas temperaturas y seguir



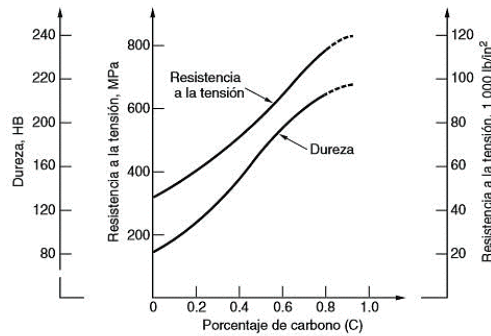
estrictos procesos de calidad para algunos procesos de conformación o manufactura. La aleación del hierro tiene una cantidad de carbono que puede variar entre 0.02 a 2.11% y es común que para ciertas aplicaciones se especifica que incluya otros materiales para agregar propiedades a la aleación [12] [13].

### 1.3.3 Clasificación de los aceros según clases de aleados

- **Aceros de base:** estos aceros se derivan por no ser aleados, no son tratados térmicamente por lo que sus propiedades mecánicas no cambian y su composición química del acero se debe tener ciertas precauciones especiales durante la fabricación por conformado en frío.
- **Aceros aleados:** son aceros aleados o no aleados a los que no se exige regularidad en respuesta a tratamientos térmicos ni requisitos especiales respecto a limpieza incursionaría, pero según el tipo de aplicación dentro de la industria se debe mejorar las propiedades del acero junto con todas sus especificaciones de tensión, corte y esfuerzo.
- **Aceros especiales:** son aceros que se fabrican bajo condiciones muy precisas de modo que presentan composiciones químicas dentro de márgenes muy estrechos, un contenido reducido en inclusiones no metálicas y, según el caso, una respuesta a los tratamientos térmicos garantizada o unas características tecnológicas o físicas muy exigentes [13].

### 1.3.4 Aceros al carbono

Los aceros al carbono están definidos como aleaciones de hierro y carbono los cuales se caracterizan por contener elementos el manganeso y el silicio que se encargan de incrementar la resistencia del material a la oxidación, mientras que elementos como el azufre y el fósforo mantienen en un bajo porcentaje.



**Figura 5.** Resistencia a la tensión y dureza en un carbono al acero simple [12].

### 1.3.5 Clasificación de los aceros según el contenido de carbono

Según su contenido de carbono, los aceros se clasifican en:

#### a. Aceros al bajo carbono

Los aceros de bajo carbono según la norma SAE 1016 a 1030 se caracterizan por tener menos del 0.20% de carbono y son por mucho los más utilizados, poseen una cantidad de carbono que se encuentra entre 0.06% a 0.25%, se pueden encontrar en columnas metálicas usadas para líneas eléctricas, partes metálicas de buques, cerraduras de puertas, estructuras metálicas de casas, carrocería para diferentes modelos de automóviles, tubos y estructuras de bicicletas, alfileres, clavos, asientos y entre otros objetos más [12] [14].

#### b. Aceros de medio carbono

Los aceros de medio carbono bajo la norma SAE 1035 a 1053 poseen en su composición entre 0.20% y 0.50% de carbono y de 0.60% a 1.65% de manganeso, se especifican para aplicaciones que requieren mayor resistencia que los aceros de bajo carbono. Su campo de aplicación se encuentra presente en accesorios de maquinaria y componentes de motores [12] [14].

#### c. Aceros de alto carbono

Los aceros de alto carbono según la norma SAE 1055 a 1095 se caracterizan por tener cantidades superiores de carbono a 0.50% y se especifican para aplicaciones que necesitan resistencias aún mayores y también rigidez y dureza. Algunos de los materiales y componentes con aceros de alto carbono son resortes, herramientas y hojas de corte y piezas resistentes al desgaste, el acero

con un alto contenido de carbono oscila desde 0.60% a 1.4% de carbono, el magnesio en la aleación oscila entre el 0.30% y el 0.90% [12] [14].

### **1.3.6 Fundiciones**

El hierro fundido tiene como característica principal una cantidad de carbono que esta alrededor de 4% y 1% de silicio. Su composición lo hace muy apropiado como metal de fundición debido a que el peso en toneladas de los artículos de hierro fundido es varias veces el de todos los otros elementos de fundición de metal con la combinación de algunos materiales a excepción de la producción de acero, barras y láminas [15].

### **1.3.7 Hierro gris**

El hierro gris según la norma ASTM A-48 como material posee un tonelaje mayor entre los hierros fundidos que tiene una composición que va de 2.5 a 4% de carbono y de 1 a 3% de silicio. La dispersión de las hojuelas de grafito es responsable de dos propiedades atractivas: buen amortiguamiento a la vibración, que es deseable en los motores y otra clase de maquinaria y otra propiedad son las cualidades de lubricación interna, lo que hace maquinable al metal fundido [15].

### **1.3.8 Hierro dúctil**

El hierro dúctil en base a la norma ASTM A-536 posee una composición similar a la del hierro gris en el cual el metal fundido recibe un tratamiento químico para que se forme el grafito en lugar de las hojuelas en el hierro y con este proceso el hierro mejora sus propiedades para ser un material más dúctil y resistente.

### **1.3.9 Hierro maleable**

El hierro maleable se obtiene como resultado cuando las piezas fundidas de hierro blanco se tratan térmicamente para separar el carbono de la solución y formar agregados de grafito, la microestructura nueva posee ductilidad sustancial en comparación con el metal a partir del cual se transformó. Los productos comunes son bisagras para tubos, ciertos componentes de máquina y equipo ferroviario [15].

En la tabla 2 se representa los tipos y la composición normal que se encuentran en las fundiciones de hierro, así como la clasificación normativa según de sus clases ASTM.

**Tabla 2. Tipos y composiciones de hierro fundido**

Tipo	Composición normal, %				
	Fe	C	Si	Mn	Otro
Hierros grises					
ASTM Clase 20	93.0	3.5	2.5	0.65	
ASTM Clase 30	93.6	3.2	2.1	0.75	
ASTM Clase 40	93.8	3.1	1.9	0.85	
ASTM Clase 50	93.5	3.0	1.6	1.0	0.67 Mo
Hierros dúctiles					
ASTM A395	94.4	3.0	2.5		
ASTM A476	93.8	3.0	3.0		
Hierros Maleables					
Ferrítico	95.3	2.6	1.4	0.4	
Perlítico	95.1	2.4	1.4	0.8	

Tabla de valores para la identificación más común según el tipo de hierro, Fuente: Fundamentos de manufactura moderna 5ta Edición.

### 1.3.10 Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables se representan por un grupo de aceros altamente aleados diseñados para proporcionar gran resistencia a la corrosión. El elemento principal de la aleación del acero inoxidable es el cromo, por lo general arriba de 15%, el incremento de carbono ayuda al metal a mejorar su resistencia y proporcionar mayor endurecimiento [15].

### 1.3.11 Aceros inoxidables austeníticos

Estos aceros en base a la norma AISI 302XX y 303XX se caracterizan por tener una composición normal de alrededor de 18% de Cr y 8% de Ni, y son los más resistentes a la corrosión en relación con otros grupos. No son magnéticos y son muy dúctiles, pero las piezas muestran un endurecimiento significativo [15].

### 1.3.12 Aceros inoxidables ferríticos

Este grupo de aceros inoxidables con norma AISI 514XX, 515XX se identifican porque contienen de 15 a 25% de cromo, poco carbono y nada de níquel, con esta cantidad de cromo a temperatura ambiente llega a una fase de ferrita. Los aceros inoxidables ferríticos son magnéticos y menos dúctiles con resistencia a la corrosión que los austeníticos.

### 1.3.13 Aceros inoxidables martensíticos

Los aceros inoxidables martensíticos según la norma AISI 514XX poseen un contenido de carbono más elevado que los ferríticos, lo que permite tener una mayor resistencia por medio de tratamiento térmico. Esta composición produce que los aceros sean fuertes, duros y resistentes a la fatiga, pero no son tan resistentes a la corrosión.

En la tabla 3 se puede visualizar los tres grupos que forman parte de los aceros inoxidables, con su composición y cantidad en porcentaje de cada uno de los metales.

**Tabla 3. Tipos y composiciones de aceros inoxidables**

Tipo	Análisis químico, %					
	Fe	Cr	Ni	C	Mn	Otro
Austenítico						
301	73	17	7	0.15	2	
302	71	18	8	0.15	2	
304	69	19	9	0.08	2	
309	61	23	13	0.20	2	
Ferrítico						
405	85	13		0.08	1	
406	81	17		0.12	1	
Martensítico						
416	85	13		0.15	1	
440	81	17		0.65	1	

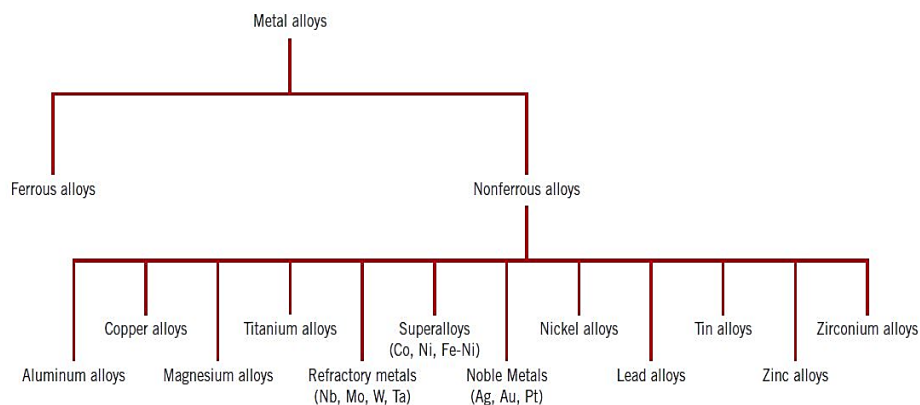
Tabla de la composición química de los aceros inoxidables de alta aleación, Fuente: Fundamentos de manufactura moderna 5ta Edición.

## 1.4 Metales no ferrosos

Este grupo de metales incluyen elementos metálicos y aleaciones no basadas en hierro, entre los metales de ingeniería más importantes en el grupo no ferroso son aluminio, cobre, magnesio, níquel, titanio y zinc, y sus aleaciones.

Las aleaciones no ferrosas con sus aleados principales entre el cobre y aluminio tienen una resistividad eléctrica muy baja entre metales y es ampliamente utilizado para cables eléctricos. El aluminio es un excelente conductor térmico, y sus aplicaciones se incluyen en intercambiadores de calor y sartenes. El zinc se utiliza en trabajos a fundición por presión y mantiene un punto de fusión relativamente bajo [16].

En la figura 6 se representa un esquema acerca de las aleaciones de los metales ferrosos y no ferrosos con sus grupos característicos de acuerdo con el metal utilizado para su aleación.



**Figura 6.** Esquema de clasificación para las diversas aleaciones no ferrosas [17].

### 1.4.1 Aleaciones de aluminio

El aluminio es un metal maleable que puede formar láminas muy delgadas y es un excelente conductor de la electricidad, su conductividad está alrededor del 65% a la del cobre. Como material en estado puro el aluminio es demasiado suave y débil para soportar deformaciones fuertes capaces de soportar temperaturas elevadas [18].

### 1.4.2 Aleaciones de forja

Las aleaciones de forja bajo la norma ASTM A-320 son producidas a partir de lingotes, que posteriormente son sometidos a un proceso de conformado mecánico. En promedio general, entre el 70 y 80% del aluminio se utiliza para producto forjados

como: láminas roladas, placas, tubos, barras y alambres. Para las aleaciones de forja de aluminio se designan según el sistema de la Asociación de Aluminio [19].

### 1.4.3 Aleaciones de fundición

Las aleaciones de fundición según la norma ASTM A-536 son materiales utilizados para la producción de piezas fundidas, de acuerdo con diferentes estimaciones, se sabe que alrededor del 20 al 30% de todos los productos de aluminio son fabricados por este método.

### 1.4.4 Aleaciones de cobre

Estas aleaciones de cobre bajo la norma ASTM B100 poseen una combinación deseable de propiedades físicas que se utilizan en gran variedad de aplicaciones desde la antigüedad hasta la actualidad, el cobre es altamente resistente a la corrosión en diversos lugares como la atmósfera ambiental, entre otros. Para mejorar las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión del cobre se lo realiza mediante aleación con otros metales, la desventaja de las aleaciones de cobre es que no pueden endurecerse ni fortalecerse mediante procedimientos de tratamiento térmico [17].

**Tabla 4. Composiciones y propiedades mecánicas de aleaciones de cobre**

Código	Composición Típica, %					Resistencia a la tensión		Elongación, %
	Cu	Be	Ni	Sn	Zn	MPa	lb/in <sup>3</sup>	
C10100	99.99					235	34000	45
C11000	99.95	1.7	b			220	32000	45
C17000	98.0					500	70000	45
C24000	80.0				20.0	290	42000	52
C26000	70.0				30.0	300	44000	68
C52100	92.0			8.0		380	55000	70
C71500	70.0		30.0			380	55000	45
C71500 <sup>a</sup>	70.0		30.0			580	84000	3

Tabla de las composiciones y propiedades mecánicas de aleaciones de cobre, Fuente: Fundamentos de manufactura moderna 5ta Edición.

En la tabla 4 se presenta algunas aleaciones del cobre con sus propiedades mecánicas para este caso el sufijo “<sup>a</sup>” significa que es tratada térmicamente para soportar altas resistencias y el sufijo “<sup>b</sup>” indica que posee pequeñas cantidades de Ni y Fe.

#### 1.4.5 Aleaciones de estaño

En la industria automotriz y marina existe un gran avance en reemplazo al material de sus componentes que se desarrolla por parte de aleaciones de aluminio y zinc, esto se cambia por las aleaciones de estaño que se utilizan para fabricar estos elementos e incluso sirve como reemplazo a soldaduras libres de plomo, componentes como tuberías, empaques y transporte en general [20] [21].

#### 1.4.6 Aleaciones de zinc

El zinc como característica principal es un metal de color blanco y brillante que a temperaturas frías es frágil, pero al calentarlo alrededor de una temperatura de 100 y 150 °C el metal del zinc se transforma en dúctil y maleable para algún tipo de aplicación en específico, su punto de fundición es a 419.5 °C y su punto de ebullición es de 907 °C, una aplicación importante del zinc está presente en el acero galvanizado que protege al acero del ataque corrosivo [16] [22].

**Tabla 5. Composiciones de resistencia a la tracción y aplicaciones de aleaciones de zinc seleccionadas**

Código	Composición Típica, %					Resistencia a la tensión		Aplicación
	Zn	Al	Cu	Mg	Fe	MPa	lb/in2	
Z33520	95.6	4.0	0.25	0.04	0.1	283	41000	Fundición a presión
Z35540	93.4	4.0	2.5	0.04	0.1	359	52000	Fundición a presión
Z35635	91.0	8.0	1.0	0.02	0.06	374	54000	Aleación de fundición
Z35840	70.9	27.0	2.0	0.02	0.07	425	62000	Aleación de fundición
Z45330	98.9		1.0	0.01		227	33000	Aleación laminada

Tabla de las composiciones, propiedades mecánicas y aplicaciones de aleaciones del zinc. Fuente: Fundamentos de manufactura moderna 5ta Edición.



En la tabla 5 se puede identificar las distintas aleaciones del zinc de acuerdo con las composiciones con otros metales aleantes y su resistencia a la tensión con su respectiva aplicación según el tipo de aleación.

#### **1.4.7 Aleaciones de titanio**

Las aleaciones de titanio se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas de otro material, este proceso de aleación en comparación a otros agentes aleantes es el más efectivo según su aplicación e implica un costo superior de aleación porque posee propiedades anticorrosivas que sirven para proteger al material ante cual agente oxidante, el titanio como material aleante puede soportar elevadas temperaturas sin deformarse, se utiliza en la industria espacial y está presente en algunos componentes desarrollados para las turbinas de gas, entre estos se tiene a los alabes de los compresores fueron el primer componente fabricado en este material y las aleaciones constituyeron estabilizadores de temperatura alfa, beta y gamma [23] [24].

#### **1.5 Corte abrasivo**

La operación de la cortadora metalográfica como se representa en la figura 7, consiste en la acción de corte con un disco de espesor delgado que contiene sustancias abrasivas y están sujetas de modo que se accione de manera manual o automática entre la pieza sujeta de modo fijo.

Las partículas que actúan con alta velocidad para el corte de la pieza dan como resultado un acabado superficial con una buena calidad que es superior a otros métodos de corte, lo cual implica que pueden requerirse menos etapas subsiguientes siendo este el método más eficiente.



**Figura 7.** Cortadora Buehler IsoMet High Speed, Fuente: BUEHLER.

Para cada proceso de corte el refrigerante debe ingresar a la operación de modo que la cantidad de este va a depender de la dureza del material, es decir, si el material posee una mayor dureza se necesita de una menor velocidad de corte y más refrigerante, el modo de sujeción de la pieza debe estar en una posición fija para evitar movimientos al momento del corte.

En estos de corte entre el contacto de la herramienta y el material, se identifica un punto a través del contacto que forma una curva correspondiente en la superficie dependiendo del punto elegido de la posición del perfil de la herramienta abrasiva. La perspectiva de la herramienta abrasiva es relevante para analizar fenómenos tales como el desgaste de la herramienta abrasiva, mientras que la perspectiva de la pieza de trabajo es relevante para otros fenómenos, como daños térmicos o rugosidad de la superficie [25].

#### **1.5.1 Máquinas cortadoras**

Este tipo de máquinas como se representa en la figura 7 aplican procesos de corte para separar o dividir el material en dos o más partes. Las más conocidas son las sierras de disco, las sierras de cinta, las sierras de vaivén y las sierras ingletadores, cuyo procedimiento consiste en el corte de una pieza según la dimensión determinada, Las máquinas cortadoras poseen un tipo de movimiento rotativo y rectilíneo que permiten el avance de la herramienta [26].

#### **1.5.2 Sustancias abrasivas**

Las sustancias abrasivas tienen como principio implementar una capa de acabado superficial sobre el corte de la pieza, independientemente del proceso de esfuerzo por triturado, pulido o molienda. Los procesos abrasivos se usan frecuentemente, por una parte, para producir la forma final y por otra, para mejorar el acabado de la superficie, estas sustancias poseen algunas presentaciones según el tipo de proceso de corte que se vaya a realizar, entre estos se tiene a los aglutinados con resinas sintéticas, discos de corte giratorios o incluso pueden presentarse en polvo [27].

Todas las sustancias abrasivas deben soportar algunas propiedades para que su ciclo de operación sea efectiva y capaz de resistir al desgaste de la pieza durante el proceso

de corte, todas estas propiedades están indicadas según el nivel de dureza, friabilidad, tenacidad y capacidad de corte.

### **1.5.3 Discos abrasivos**

Los discos abrasivos se usan comúnmente en talleres de metalurgia para cortar losas y varillas de bajo y medio carbono, este tipo de herramienta permite cortar, recortar, desbarbar, soldar en blanco y pulido de superficies. Para este tipo de aplicaciones, el costo del disco y la vida útil del mismo son aspectos importantes en la producción diaria de los diversos procesos que influyen factores como el tipo de abrasivo, tamaño y el disco aglutinante. Estos procesos van a variar según el tamaño del abrasivo y el tipo de la sustancia para varios tipos de máquinas cortadoras que realizan un proceso automático o manual [28].

## **1.6 Tipos de grano**

El grano abrasivo es el responsable del arranque de material donde cada grano en la superficie de trabajo actúa como una herramienta de corte por separado y sirve para eliminar una pequeña viruta de metal al pasar sobre la superficie de la pieza, este procedimiento proporciona y se deriva de materiales que se trituran y pasan a través de una eliminación de los distintos tamaños de cada grano dentro de la microestructura y estas pueden ser entre gruesas, medianas y finas [27].

### **1.6.1 Abrasivo alúmina**

El abrasivo alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se utiliza para realizar un pulido en la superficie de la probeta antes del acabado por su alto nivel de dureza según la medición de la escala Mosh, para este método también se puede utilizar el carburo de silicio ( $\text{SiC}$ ) y actúa de la misma forma con un similar grado de finura en sus mallas.

El corte abrasivo es una operación que produce un surco estrecho y profundo por abrasión hasta alcanzar toda la pieza cortada, los discos abrasivos se utilizan en corte de perfiles laminados rectangulares de acero estructural y esta es una operación que se realiza en condiciones donde el material se encuentra totalmente seco y es una operación especial siguiendo los principios generales del proceso de mecanizado por rectificado [28] [29].

## 1.7 Pulidora metalográfica

La pulidora metalográfica es una máquina automática que sirve para el desbaste y pulido de la superficie en las probetas, por este motivo las pulidoras son indispensables en los laboratorios de metalografía por los procesos que se realizan para mejorar el resultado que se obtiene y acortar los tiempos de operación.

El EcoMet 30 de la figura 8 es una máquina pulidora – esmeriladora que se utiliza en laboratorios de metalografía que proporciona una operación simple que sirve para pulir y desbastar la superficie de la probeta, el interfaz de la pantalla táctil es muy versátil para regular las funciones de operación para regular los comandos y estandarizar un proceso más simple que puedan agregar tiempo al proceso. Posee una durabilidad probada durante 2500 horas y lo suficientemente flexible como para ser compatible con platos de 8 pulgadas [203 mm], 10 pulgadas [254 mm] y 12 pulgadas [305 mm] [30].



**Figura 8.** Desbastadora-pulidora automática/manual EcoMet 30, Fuente: BUEHLER.

### 1.7.1 Desbaste

Cuando se genera el corte sobre una pieza, la superficie de esta sufre daños de tal modo que, el grado o la profundidad del daño depende mucho de cómo se ha cortado el material. El desbaste se encarga de eliminar ese daño y restaurar la integridad estructural de la muestra para llevar a cabo un análisis micrográfico, no obstante, el daño a una pieza producido por el desbaste puede ser mayor al daño producido por corte.

Si el material representa un nivel de dureza bajo y blando, se puede mantener en la superficie de la pieza las sustancias abrasivas para identificar estos daños, se debe prevenir que los fragmentos abrasivos queden atrapados en lugar de la muestra con un paño o tela impermeable. Una vez realizado el procedimiento de desbaste, se debe limpiar la probeta con una superficie de fibra suave bajo el uso de algún lubricante [31].

## **1.7.2 Tipos de desbaste**

### ***1.7.2.1 Desbaste grosero***

Es un proceso que tiene como objetivo principal reducir las anormalidades de la probeta extraída durante el proceso de corte de esta, hasta dejar la superficie lo más plana posible. Cuando el área de la probeta es grande, el tiempo de desbaste se puede reducir si se gira ligeramente mientras se desbasta. Para el desbaste grosero se puede realizar con lijas de 80 y 100, este proceso es fácil de operar porque se puede reconocer a simple vista como desaparecen las líneas marcadas en la superficie de la probeta reemplazando a las líneas más gruesas con el paso del desbaste [32].

### ***1.7.2.2 Desbaste intermedio***

El desbaste se lo puede realizar mediante la forma simple (manual) o avanzada (semiautomático), se prepara la superficie que será objeto de estudio con la ayuda de lijas que pueden ir desde 100, hasta 320, durante el proceso actúan los lubricantes para evitar la modificación estructural superficial de ciertas muestras tratadas térmicamente o los desechos de los granos abrasivos [27].

### ***1.7.2.3 Desbaste final***

Para este proceso del desbaste final se puede utilizar lijas más finas de 320 o mayores, el desbaste se mantiene un movimiento constante en ángulos rectos para evitar crear superficies con rayaduras para eliminar todas las rayas que, del desbaste grosero, bajo este procedimiento mientras el material tenga mayor dureza, menor es la finura del grano de la lija. Terminado el desbaste, se debe lavar la muestra y las manos del operador, para evitar contaminar el paño durante la operación del pulido [32].

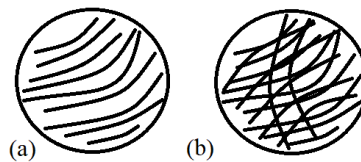
### 1.7.3 Tipos de pulido

#### 1.7.3.1 Pulido mecánico

Los paños que se utilizan en el pulido mecánico se encuentran de manera estacionaria en los discos de las pulidoras, este método de operación varía según el tipo de paño y el tipo de sustancia abrasiva que se utiliza para el pulido, entre estos se tiene al paño de pana, terciopelo, seda, entre otros. Los abrasivos que se usan de manera común son la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) son en forma de polvos pequeños que se usan como actuadores de la superficie del material y el disco de pulido, para esta operación el abrasivo debe estar junto con líquidos que varían dependiendo del material [31].

La operación del pulido se debe mantener constante y no permanecer durante mucho tiempo en el paño junto con el disco para evitar daños en la superficie del material.

Ejemplos de rayaduras causadas por la rotación errónea de la probeta en el paño se observan en la Figura 9.



**Figura 9.** (a) Rayaduras puntuales y (b) Rayaduras concéntricas [31].

Estas líneas marcadas permanecerán a no ser que tanto el paño como la probeta tengan un movimiento armónico dejando la superficie plana y altamente reflectante [31].

### 1.8 Espectrofotómetro

El espectrofotómetro como se lo representa en la figura 10, posee aplicaciones con variaciones y uso de radiación de onda como muestras espectrales dentro de los sensores optoelectrónicos que identifican su comportamiento con el material, las capturas a través de imágenes con el sensor del multispectral permiten modificar un rango de frecuencias por el hardware de adquisición.

Para el uso adecuado del espectrofotómetro se recomienda que las superficies de la probeta se encuentren en contacto con el soporte y el medidor espectral, debido a que el equipo realiza mediciones de manera automática, se debe considerar que los primeros valores obtenidos pueden obtener errores en un rango de 0.1 a 0.2%. Bajo esta aplicación el nivel de pixeles de manera vectorial se ven reflejados según su forma espectral con datos obtenidos a través del sensor de los materiales en el píxel [32].



**Figura 10.** Espectrómetro de emisión óptica HITACHI, Fuente: HITACHI.

### 1.9 Microscopio metalográfico

Para el proceso del ensayo metalográfico, el microscopio como se lo representa en la figura 11, muestra la visualización de la microestructura y el tamaño de los granos en la superficie de la probeta del metal, este procedimiento magnifica una proporción de toda la estructura con el uso del lente aumentado del microscopio.

La diferencia entre el microscopio metalográfico y los convencionales es el aumento de 50x a 1000x para las microestructuras y la magnificación e iluminación de toda la superficie del material, este aumento del lente produce una iluminación opaca que se aclarece según la luz indicadora de observación con el material, todas las muestras obtenidas con aumentos ópticos inferiores a 100x solo se puede realizar comparaciones graficas referentes al Metal HandBook [33].




**Figura 11.** Microscopio invertido Buehler ViewMet, Fuente: BUEHLER.

## CAPÍTULO II

### FORMATO PARA EL SEGUIMIENTO DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS RECOMENDADAS PARA EL LABORATORIO DE METALOGRAFÍA

#### 2. Guía de práctica recomendada para la máquina de corte

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA LA MÁQUINA DE CORTE BUEHLER ISOMET HIGH SPEED
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Corte metalográfico de la probeta
- Práctica no. 1
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 180 min

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Corte de muestra metalográfica para cortadora automática Buehler.
- Justificación:** Establecer las medidas concretas para el corte en la dimensión de la probeta mediante la cortadora automática IsoMet Buehler.
- Objetivo General**

Conocer el funcionamiento de la cortadora automática IsoMet de alta velocidad Buehler para el corte de las probetas según la norma para ensayo metalográfico ASTM E3-95.
- Objetivos Específicos**
  - Identificar parámetros de funcionamiento de la cortadora para el acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40.
  - Reconocer teóricamente el tipo de disco abrasivo recomendado bajo norma para las probetas de acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40.
  - Seleccionar el avance y la velocidad óptimos para el proceso de corte del acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40.



### 3. MARCO TEÓRICO

En el corte de las muestras para el ensayo metalográfico de las probetas se establece un proceso de análisis según el tipo de material para que no genere una excesiva fricción entre el disco de corte y la probeta para evitar discontinuidades en la estructura y propiedades del metal. La máquina de corte Buehler IsoMet High Speed de la figura 15 es una mesa estacionaria con una precisión de corte con sierra, el material se sujeta con mordazas junto con un láser de presión para alinear la probeta y evitar desfases en su eje de ubicación [34] [35].

El proceso para realizar el corte de las probetas metalográficas consta de las siguientes operaciones:

- 1 Selección del disco abrasivo.
- 2 Revisar la cantidad del refrigerante necesario para el proceso de corte.
- 3 Sujeción de la probeta en la mesa de trabajo.
- 4 Configurar los parámetros de corte según el material.

### 4. MATERIALES Y EQUIPOS

#### a. Probetas

Dimensiones de las probetas: diámetro de 11 mm, longitud de 36 mm.



**Figura 12.** Probeta de aluminio Prodax  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



**Figura 13.** Probeta de acero AISI 1018  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva



**Figura 14.** Probeta de bronce fosfórico SAE 40  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**b. Cortadora automática Buehler IsoMet de alta velocidad**



**Figura 15.** Cortadora Metalográfica de alta velocidad. Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 6. Especificaciones técnicas de la máquina de corte Buehler IsoMet High Speed**

Especificaciones	Características
Operación de corte	Control automático, manual
Unidades	Sistema Ingles, Internacional
Eje de movimiento de la cuchilla	Horizontal y lineal (X, Y)
Ajustes de posición de cuchilla	Horizontal: 0-2 in (0-50 mm)
Rango de longitud de corte	0.01-7.25 in (1 mm-184 mm)
Velocidad de cuchilla	200-5000 rpm
Capacidad de corte (diámetro)	2.8 in (71 mm)
Diámetro de la cuchilla abrasiva	5-8 in (127-200 mm)

Tabla de las especificaciones técnicas de la cortadora Buehler IsoMet Alta Velocidad. Fuente: BUEHLER.

En la Tabla 6 se establece las especificaciones técnicas para el funcionamiento de la máquina cortadora IsoMet de alta velocidad considerando los criterios técnicos establecidos por el fabricante, esta máquina se encuentra ubicada en el laboratorio de metalografía.

**c. Equipo de protección personal (EPP)**

- Visor
- Guantes
- Mascarilla
- Mandil
- Zapatos de uso industrial

**5. PROCEDIMIENTO**

**a. Sujeción de la probeta en la mesa de trabajo de la cortadora y selección de disco de corte**

Para este proceso se verifica las dimensiones de la probeta para rectificar con las medidas nominales de la cortadora cuya capacidad de diámetro de la muestra es de 71 mm y un rango de longitud de corte de 1-184 mm.



**Figura 16.** Mandril de una montura para cortadora automática, Fuente: BUEHLER.

Para la sujeción de la muestra de la probeta con un diámetro de 11 mm se tiene un mandril de una montura con una apertura para muestras de hasta 38 mm de diámetro como se muestra en la Figura 16.



**Figura 17.** Sujeción de la probeta con el mandril, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

Para la sujeción de la muestra en la Figura 17 es necesario que se encuentre fija y se ajuste con un playo de presión el mandril de una montura para que la probeta no tenga ningún tipo de movimiento durante el proceso de corte.

**Tabla 7. Cuchillas abrasivas para cortadora automática IsoMet**

<b>Materiales</b>	<b>Tamaño del disco</b>
Acero de herramienta, acero duro, HRC45 en adelante	Disco AcuThin 5 in (127 mm)
Acero blando, duro medio, hasta HRC45	Disco AcuThin 5 in (127 mm)
Materiales no ferrosos suaves, duros	Disco AcuThin 7 in (178 mm)
Materiales resistentes y uso general	Disco AcuThin 5.9 in (150 mm)
Materiales duros frágiles y uso general	Disco de diamante 15 LC 7 in (178 mm)

Tabla de las clasificaciones del tamaño de los discos abrasivos AcuThin y diamante según el tipo de material. Fuente: Buehler.

En la Tabla 7 se establece el tamaño del diámetro del disco abrasivo para la cortadora automática que se recomienda para una serie de materiales y el que se encuentra disponible en el laboratorio para la cortadora metalográfica es el disco de diamante 15 LC de 7 in (178 mm).

**Tabla 8. Parámetros para velocidades de corte y avance de la cortadora**

<b>Material</b>	<b>Velocidad del disco (RPM)</b>	<b>Avance (mm /min)</b>
Acero de baja aleación, AISI 1018, 1045, 4140 y 4340	1500 – 2000	5
Bronce	2000 – 3000	7
Aluminio	3500 – 4000	5 – 7

Tabla de parámetros recomendados para la velocidad de corte y el avance de la cortadora metalográfica. Fuente: ASTM E3-95.

En la tabla 8 se muestra los parámetros de corte y avance que se recomiendan para el proceso de corte automático en las probetas metalográficas para ciertos tipos de materiales. Para el caso de los aceros el tiempo de operación de corte es de 3 min, para el aluminio un tiempo de operación de 2 min y 30 segundos, para el bronce el proceso de corte tiene un tiempo de 1 min y 50 segundos.

#### b. Configuración de parámetros para el corte

Para la configuración de los parámetros se tiene en la cortadora metalográfica un panel táctil con pantalla LCD para insertar las variables de operación y en este procedimiento se debe seguir las siguientes indicaciones para un corte automático.

1. Con los controladores manuales de precisión que se encuentran a lado del paro de emergencia con dirección en ejes x, y se debe encontrar el cero pieza de la probeta y alinearla con el disco de corte.



**Figura 18.** Controladores manuales de precisión en ejes x, y.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

2. Insertar la velocidad de corte en RPM según los valores de la tabla 8 y presionar en el visto para guardar los cambios.



**Figura 19.** Menú de la velocidad nominal de la cuchilla en RPM. Fuente: BUEHLER.

3. Luego de insertar las RPM se debe ingresar el avance del disco de corte según los valores de la tabla 8 y presionar el visto para guardar los cambios.



**Figura 20.** Menú del avance del disco abrasivo en in/min. Fuente: BUEHLER.

4. En el menú principal de la pantalla de la cortadora verificar que el encendido del refrigerante se encuentre activado y para eso se presiona el ícono de “off” y después presionar el icono de PLAY para ejecutar la operación de corte.



**Figura 21.** Menú principal de la pantalla de inicio de la cortadora metalográfica.

Fuente: BUEHLER.

## 5. Extracción de la probeta

Una vez que se culmine el proceso de corte se debe levantar la bandeja de seguridad para que el programa se suspenda y así extraer la probeta del mandril de una montura.



**Figura 22.** Extracción de la probeta del mandril de una montura  
Elaborado por: Favio Silva, Victor Idrovo.

## 6. Verificación de medidas

Cuando la probeta se extrae del mandril sujetador se debe verificar que las medidas sean las correctas para que en el caso de que no cumpla con lo estimado se debe repetir el procedimiento desde el primer paso.

## 6. RESULTADOS

En la Figura 23 se puede apreciar los resultados del proceso de corte para los materiales de acero 1018, aluminio y bronce fosfórico con el disco de diamante 15 LC con diámetro de 7 in (178 mm) y configuración de parámetros según la tabla 9. En cada probeta se realizó un corte a lo largo de la longitud de 0.2 in (5 mm), necesario para el encapsulado y un corte de 0.059 in (1.5 mm).



**Figura 23.** Corte de probetas metalográficas: a. Aluminio Prodax, b. Acero AISI 1018, c. Bronce fosfórico SAE 40, Elaborado por: Favio Silva, Victor Idrovo.

## **7. CONCLUSIONES**

- Se identificó los tipos de parámetros que se deben considerar para el proceso de corte de la muestra metalográfica en base a la norma para preparación de probetas metalográficas ASTM E3-95 en la cortadora automática IsoMet de alta velocidad.
- Se reconoció que el disco abrasivo de diamante 15 LC de 7 in de diámetro se encuentra disponible para los procesos de corte que sirve para cualquier tipo de material que se vaya a utilizar.
- Se estableció los parámetros de velocidad y avance recomendados bajo norma para los procesos de corte de distintos metales y para el acero AISI 1018 se tiene una velocidad de 2000 RPM con avance de 5 mm/min y un tiempo de operación de 3 minutos, para el aluminio Prodax se obtuvo un corte con una velocidad de 4000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de operación de 2 min y 30 segundos, para el bronce fosfórico se obtuvo un corte con una velocidad de 2000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de operación de 1 min y 50 segundos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para la cortadora automática IsoMet de alta velocidad es recomendable usar el disco de corte abrasivo de diamante 15 LC que recomienda el fabricante para uso de metales en general.
- Es importante que a partir de cada corte con probetas diferentes se vuelva a encontrar el origen de desplazamiento automático para el corte.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**


<https://www.neurtek.com/es/academia/metalografia-preparacion-de-muestras/cuales-son-los-pasos-a-tener-en-cuenta-en-una-preparacion-de-muestras>

<https://www.buehler.com.es/isoMet-high-speed-pro.php>

[https://www.oshma.com.ar/vscomunicacion/catalogos/BUEHLER\\_FN01517\\_IsoMet.pdf](https://www.oshma.com.ar/vscomunicacion/catalogos/BUEHLER_FN01517_IsoMet.pdf)



## 2.1 Guía de práctica recomendada para el espectrofotómetro

 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR</b>		GUÍA DE PRÁCTICA DEL ESPECTROFOTÓMETRO OXFORD INSTRUMENTS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Espectroscopia del material
- Práctica no. 2
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 180 min

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Análisis de la composición química del acero AISI 1018 en el espectrofotómetro.
- Justificación:** Preparar la probeta para realizar la medición espectroscópica del material.
- Objetivo General**  
Reconocer la composición química del acero AISI 1018 mediante el uso del espectrofotómetro para comprobar el tipo de metal que se solicita.
- Objetivos Específicos**
  - Preparar el equipo de análisis y medición del espectrofotómetro.
  - Conocer el porcentaje de la desviación estándar que tiene el acero AISI 1018 entre cada uno de sus componentes.
  - Comparar los datos obtenidos en el espectrofotómetro con la composición bajo norma ASTM E350 de la composición química del material.

### 3. MARCO TEÓRICO

El espectrofotómetro Figura 25 es una máquina de análisis espectroscopio con emisión óptica que tiene como objetivo en brindar resultados muy precisos según el tipo de metal de análisis, además posee detectores para que se identifique el tipo de material con su composición interna con otros metales como son el hierro,

silicio, manganeso, cromo, níquel, aluminio, entre otros. Esta máquina posee un alcance espectral que cubre de 130 a 180 nanómetros para cualquier tipo de metal [36].

El proceso para realizar el análisis espectroscópico consta de las siguientes operaciones:

- a. Encender la bomba del espectrofotómetro para hacer un vacío de gases.
- b. Colocar la superficie pulida de la probeta en la punta espectral.
- c. Establecer parámetros y configuración en el espectrofotómetro.

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **a. Probeta acero AISI 1018**

Dimensiones de la probeta: Diámetro de 38 mm, longitud de 50 mm.



**Figura 24.** Probeta de acero AISI 1018 para análisis de composición química.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

##### **b. Espectrofotómetro OXFORD Instruments**



**Figura 25.** Espectrofotómetro OXFORD INSTRUMENTS.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

##### **c. Equipo de protección personal (EPP)**

- Mandil
- Mascarilla
- Guantes

## 5. PROCEDIMIENTO

### a. Realizar un vaciado de gases con la bomba del espectrofotómetro

Para el primer procedimiento se debe encender la bomba de vacío que se encuentra en el compartimento abajo del espectrofotómetro y verificar el tipo de gas que se debe utilizar antes de usar el espectrofotómetro en el cual el laboratorio de metalografía dispone de un gas noble argón de grado 5 (argón puro).



**Figura 26.** Compartimento donde se encuentra la bomba de vacío.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### b. Limpieza de la punta generadora espectral

En este proceso se debe limpiar la boquilla de electrones donde se encuentra la punta que mide las ondas espectrales en la superficie del metal, por recomendación se debe repetir ese mismo proceso por cada tres mediciones para tener datos más exactos en la composición química del material.

### c. Seleccionar el tipo de configuración de medición en el software

Para que las mediciones se realicen de manera correcta se debe seleccionar en el programa del espectrofotómetro la opción de “Analysis” para que se despliegue el menú de selección y elegir el tipo de metal que se desea obtener, en este procedimiento es importante mencionar que la máquina solo está configurada para materiales ferrosos y en este caso en particular se va a seleccionar la opción “FE\_100” que sirve para metales ferrosos de baja aleación como se visualiza en la Figura 27.



dentro del ordenador PC que está conectado con el espectrofotómetro para después los datos sean validados con la composición bajo norma del acero AISI 1018 presente en catálogos.

## 6. RESULTADOS

Después de que el generador espectral realiza las tres medidas en distintos puntos de la superficie de la probeta, se obtiene el resultado que genera las chispas cuando entrar en contacto con el metal y se puede visualizar en la Figura 29.



**Figura 29.** Puntos de medida en la superficie inferior de la probeta

Elaborado por:: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 9. Porcentaje nominal del acero AISI 1018**

Elemento	Composición (%)
Hierro (Fe)	98.7
Carbono (C)	0.15 - 0.2
Silicio (Si)	0.15 - 0.35
Manganeso (Mn)	0.6 - 0.9
Plomo (Pb)	0.04
Azufre (S)	0.04

Tabla de las composiciones químicas presentes en el acero AISI 1018. Fuente: SUMINDU.

En la Tabla 9, se refleja la composición química de los metales bajo norma presentes en el acero AISI 1018 y se realiza un promedio entre las distintas mediciones para hacer una comparación entre el porcentaje nominal que se obtiene

en referencia a los estándares bajo norma del metal y los ensayos que se realizaron en el espectrofotómetro Tabla 10.

**Tabla 10. Resultados de las tres medidas de la composición química del material**

<b>Elemento</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio</b>
Fe	98.5	98.5	98.5	98.5
C	0.186	0.190	0.186	0.187
Si	0.170	0.168	0.173	0.170
Mn	0.886	0.903	0.907	0.899
P	0.0148	0.0149	0.0152	0.0150
S	0.0392	0.0401	0.0404	0.0399
Cr	0.0230	0.0243	0.0237	0.071

Tabla de medidas de la composición química del acero AISI 1018 del ensayo del espectrofotómetro.  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Tabla 10 se representa las medidas en distintos puntos de la superficie del acero AISI 1018 junto con un promedio general para comparar los datos obtenidos con los valores bajo norma de la Tabla 9 y los promedios generales de cada componente.

**Tabla 11. Comparación de los componentes del acero AISI 1018**

<b>Composición</b>	<b>Rango bajo norma (%)</b>	<b>Promedio del ensayo (%)</b>	<b>Error porcentual</b>
Hierro (Fe)	98.7	98.5	0.20
Carbono (C)	0.15 - 0.2	0.187	-----
Silicio (Si)	0.15 - 0.35	0.170	-----
Manganeso (Mn)	0.6 - 0.9	0.899	-----
Azufre (S)	0.04	0.0399	0.25

Tabla de las composiciones químicas bajo norma y del ensayo en el espectrofotómetro del acero AISI 1018. Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Tabla 11 se representa los valores de los componentes medidos del acero AISI 1018 en el espectrofotómetro y la composición bajo norma junto con el error porcentual.

## **7. CONCLUSIONES**

- Se preparó el espectrofotómetro mediante un vaciado de gases antes de realizar el proceso de medición y se estableció la posición de la probeta con parámetros que se establecen en la Norma ASTM E350.
- Se determinó que el error porcentual entre los elementos de la composición química del acero AISI 1018 se encuentra con un rango mínimo de 98.5% de hierro y 0.0399% de azufre.
- Se comparó los resultados obtenidos de la composición química del acero AISI 1018 y se tiene una mínima variación en la composición del hierro con 0.20% y el azufre con 0.25%, pero mantienen un rango de desviación estándar menor al 5% el cual es aceptable para comprobar que el elemento es el correcto.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Antes de realizar el ensayo en el espectrofotómetro es recomendable que la superficie de la probeta se encuentre pulido para evitar que el medidor de ondas espectrales genere chispas en el metal.
- Para la obtención de datos en el ensayo del espectrofotómetro es de preferencia tomar mínimo tres datos de medida para calcular un promedio entre los elementos para obtener datos más precisos.
- Por cada tres puntos de medidas que realice el espectrofotómetro se debe limpiar el sujetador de la probeta y la punta espectral generadora.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**


<http://www.brownstoneasiatech.com/admin/uploads/products/attachments/146/foundry-master-xpert-brochure-english.pdf>

<https://www.astm.org/Standards/E350.htm>

<https://www.pedeca.es/oxford-instruments-foundry-master-xpert/>

<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E3-11.htm>

## 2.2 Guía de práctica para máquina encapsuladora

		GUÍA DE PRÁCTICA PARA LA MÁQUINA ENCAPSULADORA SIMPLIMET 4000
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Prensa de montaje
- Práctica no. 3
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 180 min

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Encapsulado con la prensa de montaje de metales ferrosos y no ferrosos.
- Justificación:** Preparar el material para el proceso de montaje por compresión.
- Objetivo General**  
Realizar un proceso de montaje por compresión con la máquina encapsuladora bajo norma ASTM E3-1962 para metales ferrosos y no ferrosos.
- Objetivos Específicos**
  - Conocer el funcionamiento de la máquina encapsuladora.
  - Identificar los tipos de compuestos de montaje que se deben utilizar para el aluminio PRODEX, acero AISI 1018 y bronce fosfórico SAE 40.
  - Establecer parámetros para mantener la calidad de los bordes del encapsulado.

### 3. MARCO TEÓRICO

El encapsulado se realiza en el caso de que el material no tenga el tamaño necesario para el análisis de toda su estructura con estudios de dureza, para esto las prensas de montaje poseen compuestos para adaptar mediante compresión estas muestras de metal. Este proceso se realiza en caliente para obtener un mejor acabado en los



bordes de los compuestos, además esta es una operación menos costosa en comparación a otros procesos de montaje [37].

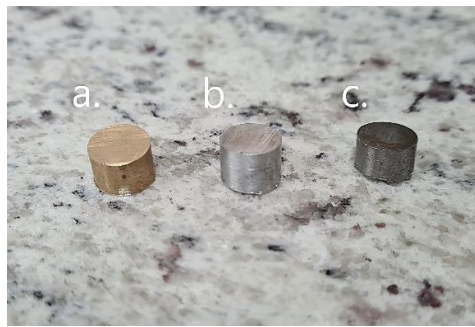
El proceso para realizar el encapsulado en la prensa de montaje consta de las siguientes operaciones:

- 1 Identificar el tipo de compuesto según el material.
- 2 Establecer parámetros de configuración para el proceso.
- 3 Considerar temperatura y tiempo de enfriamiento del molde.

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **a. Probetas**

Dimensiones de las probetas: diámetro 11 mm (0.43 in), longitud de 5 mm (0.20 in).



**Figura 30.** Probetas para el encapsulado de los siguientes materiales: a. Bronce fosfórico SAE 40, b. Aluminio Prodax, c. Acero AISI 1018. Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

##### **b. Prensa de montaje Buehler SimpliMet 4000**



**Figura 31.** Máquina encapsuladora en caliente para moldes.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

La máquina encapsuladora de la figura 31 tiene una disponibilidad de operación durante 24 horas seguidas, con su capacidad ilimitada de proceso es más efectivo y elimina posibles tiempos muertos o cuellos de botella, la muestra de cada probeta después del corte se encapsula y quedan listas para el pulido. Esta máquina logra procesos continuos sin interrupciones incluso ante condiciones exigentes de trabajo [38].

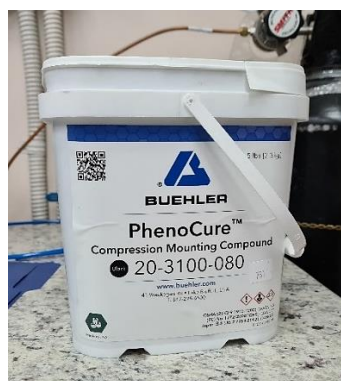
**Tabla 12. Especificaciones de la máquina encapsuladora Buehler SimpliMet 4000**

<b>Especificaciones</b>	<b>Características</b>
Funcionamiento	Electrohidrólisis automática
Tamaños de moldes de montaje	Sistema Ingles: 1 in, 1.25 in, 1.5 in Sistema Internacional: 25 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm
Presión	Rango de presión operativa 1000-4400 Psi (70-300 bar) Ajustable en incrementos de 50 Psi (5 bar) La función de presión de precarga aplica presión gradualmente para muestras delicadas a 350 psi (24 bar)
Tiempo de calentamiento	Selector para el usuario entre 1 y 20 min
Temperatura de calentamiento	Temperatura operativa 120°F – 420°F (50°C-220°C)
Potencia calorífica	1500 W a 115 VCA/1900 W a 230 VCA
Tiempo de enfriamiento	Selector para el usuario entre 1 y 30 min, ajustable con incremento de 10 seg. SmartCool regula la temperatura hasta 40°C

Tabla de las especificaciones técnicas de la máquina encapsuladora Buehler SimpliMet 4000. Fuente: BUEHLER.

En la tabla 12 se presenta las especificaciones técnicas del catálogo del fabricante Buehler para conocer el funcionamiento y parámetros necesarios para la operación de la máquina encapsuladora SimpliMet 4000.

**c. Compuesto de montaje por compresión PhenoCure**



**Figura 32.** Compuesto de montaje PhenoCure, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

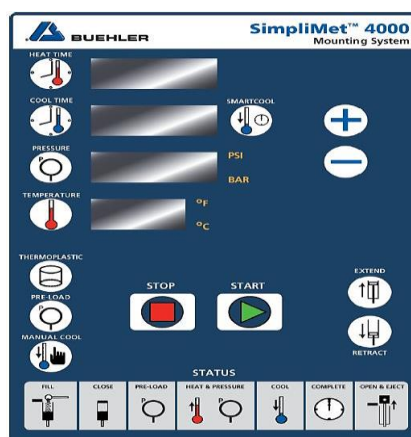
**d. Equipo de protección personal (EPP)**

- Guantes
- Mascarilla
- Mandil

**5. PROCEDIMIENTO**

**1. Identificar el panel de control de la prensa de montaje**

En la figura 33 se puede visualizar el panel de control con todas las funciones que se necesitan para realizar el encapsulado de las probetas.

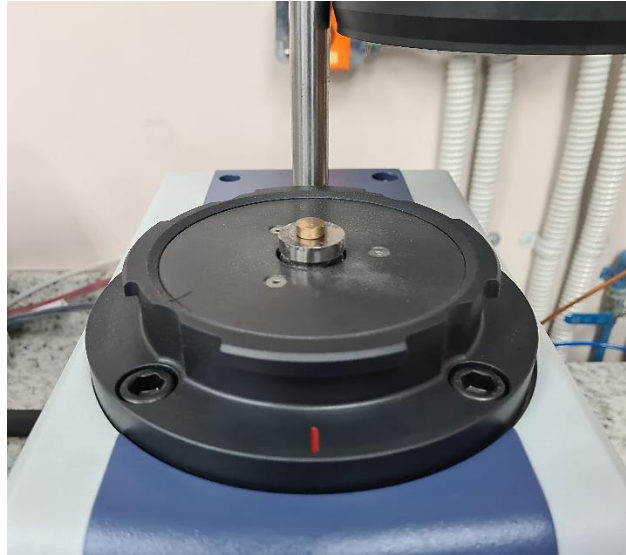


**Figura 33.** Panel de control de la prensa de montaje automática SimpliMet 4000

Fuente: BUEHLER.

## 2. Elevar el pistón de la muestra

Para este proceso se debe presionar el botón de EXTEND de la figura 33 para que el pistón se eleve hasta la parte superior, una vez que el pistón se haya elevado por completo se debe colocar la probeta en el centro como se muestra en la Figura 34.



**Figura 34.** Probeta de bronce fosfórico SAE 40 en el pistón inferior

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 3. Descender el pistón

Presionar el botón de RETRACT que se encuentra en el panel de control para que el pistón vaya descendiendo y como recomendación pulse el botón durante 2 segundos para que el pistón baje automáticamente.



**Figura 35.** Descenso del pistón inferior

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### 4. Medir la longitud de la muestra encapsulada

Para este procedimiento se recomienda usar un calibrador para medir la longitud que se necesita para las muestras encapsuladas en caso de realizar un proceso de pulido es recomendable que la longitud de la muestra sea de 50 mm, para establecer esta medida se debe tener ajustado el calibrador y con los botones de EXTEND Y RETRACT se regula la distancia necesaria como se muestra en la Figura 36.



**Figura 36.** Medición de la longitud total de la muestra encapsulada

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### 5. Agregar el compuesto de montaje

Una vez que el pistón se encuentre descendido se debe agregar el compuesto de montaje PhenoCure de la figura 32 y la cantidad del compuesto se debe agregar hasta la parte pulida del pistón inferior como se muestra en la Figura 37.



**Figura 37.** Llenado del compuesto de montaje

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 6. Cerrar la compuerta del molde superior

Una vez que se encuentre llenado el compuesto de montaje se debe mantener presionado el botón de RETRACT hasta que el pistón inferior descienda por completo y luego cerrar la compuerta del molde y verificar que se encuentre bloqueada y para comprobar que está bien asegurado el indicador de seguridad debe estar como se representa en la figura 38.



**Figura 38.** Compuerta del molde bloqueada

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 7. Configurar parámetros para tiempos de calentamiento y enfriamiento

Para el calentamiento se debe mantener presionado el botón de HEAT TIME hasta que la pantalla parpadee, con los botones de +, - que se encuentra en el panel de control se pulsan para aumentar o disminuir el tiempo de calentamiento de calentamiento que va a depender del tipo de material y el tamaño de la muestra, los parámetros recomendados se encuentran en la tabla 13.

**Tabla 13. Parámetros recomendados para muestras con diámetro de 1 in y 25 mm**

Compuesto de montaje	Temperatura	Presión	Tiempo de calentamiento	Tiempo de enfriamiento
PhenoCure	180° C	290 bar	1 min y 30	2 min y 30
	350° F	4200 psi	seg.	seg.

Tabla de los parámetros para un molde individual de 220 V en la encapsuladora Buehler SimpliMet 4000. Fuente: BUEHLER.

## 8. Configurar parámetros de presión y temperatura

Para seleccionar el nivel de presión de montaje se debe mantener seleccionado el botón de PRESSURE y para el nivel de temperatura se selecciona el botón de TEMPERATURE, los valores de presión y temperatura determinados se encuentran en la tabla 13. Luego presionar el botón de START.

## 9. Retirar el encapsulado de la prensa de montaje

La encapsuladora emitirá un sonido para verificar que el montaje ha terminado y para extraer la muestra se debe desbloquear la tapa del molde y después hay que tener presionado el botón de EXTEND para que se eleve el pistón de manera automática y luego retire la muestra cómo se indica en la figura 39.

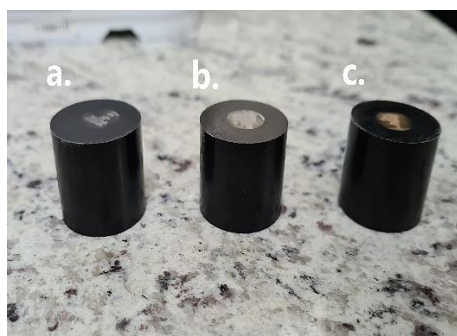


**Figura 39.** Muestra encapsulada en el pistón inferior

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 6. RESULTADOS

En la Figura 40 se puede identificar el encapsulado de las tres probetas con materiales ferrosos y no ferrosos, el molde tiene un diámetro de 25 mm y una longitud de 50 mm que va a servir para realizar un proceso de pulido en las pulidoras semiautomáticas.



**Figura 40.** Encapsulado de probetas de a. Acero AISI 1018, b. Aluminio Prodax, c. Bronce fosfórico SAE 40, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



## **7. CONCLUSIONES**

- Se conoció el funcionamiento de la prensa de montaje SimpliMet 4000 con métodos de operación a distintos voltajes y componentes de montaje que pueden variar las características del encapsulado.
- Se identificó que el compuesto de montaje PhenoCure que se encuentra en el laboratorio de metalografía es recomendado por el fabricante es de uso general para una amplia variedad de materiales ferrosos y no ferrosos.
- Se estableció los parámetros de operación para el acero AISI 1018, bronce fosfórico SAE 40 y el aluminio Prodax con unos valores que se usan para los tres metales a 290 bar de presión, 180° C de temperatura de calentamiento y los tiempos de calentamiento es de 1 min con 30 seg., el tiempo de enfriamiento es de 2 min y 30 segundos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para cada proceso de encapsulado es recomendable realizar una limpieza dentro y fuera del pistón inferior para evitar que fragmentos del material se adhieran a la superficie del metal en un nuevo encapsulado.
- Durante cada proceso de montaje por compresión es importante medir la longitud total de la probeta encapsulada porque dependiendo del proceso es necesario que la longitud del encapsulada tenga una medida específica.
- Los parámetros de encapsulado pueden variar de acuerdo con el tamaño del diámetro de la muestra y es necesario que se verifique los valores preestablecidos bajo norma para mantener la calidad de los bordes del encapsulado.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

<https://www.neurtek.com/es/metalografia-plastico/prensa-metalografica/opal-x-press>


<http://www.cenim.csic.es/index.php/laboratorios-de-investigacion/213-metalografia>

<https://www.buehler.com.es/simpliMet-4000-mounting-press.php>

<https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=Prensa%20de%20montaje&>



## 2.3 Guía de práctica recomendada para el ensayo metalográfico

		GUÍA DE PRÁCTICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Probetas metalográficas
- Práctica no. 4
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado: 180 min

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Preparación de probetas metalográficas.
- Justificación:** Preparar el desbaste y pulido de la superficie de las probetas para visualizar la microestructura del metal en el microscopio.
- Objetivo General**

Preparar las probetas metalográficas mediante procesos de desbaste, pulido y ataque químico para la visualización de la microestructura de la superficie del metal en el microscopio según la Norma ASTM E1351-96.
- Objetivos Específicos**
  - Identificar el tipo de lijas utilizadas para el desbaste fino y grueso.
  - Establecer parámetros recomendados según la Norma ASTM E3-11 para el pulido con paño de las probetas de acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40.
  - Realizar un ataque químico en la superficie de la probeta bajo Norma ASTM E407-99 para observar la microestructura de la probeta en el microscopio metalográfico.

### 3. MARCO TEÓRICO

La metalografía se utiliza para visualizar la microestructura y tamaño del grano de una probeta según el tipo de metal. La muestra de la probeta sigue una serie de procesos antes de llegar al microscopio y pasa por una serie de análisis que se

cuantifican en variables de medición en parámetros de corte y desbaste hasta que la superficie de la probeta cuente con una forma plana con el punto de contacto y definir un ataque químico para eliminar cualquier tipo de imperfecciones, seguido de un proceso de secado con un paño de seda para verificar la estructura en el microscopio metalográfico.

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **a. Banco de lijas**

El banco de lijas se utiliza para el desbaste grueso y pulido fino de la probeta según el número de lijas que se vayan a usar, entre ellas se tiene para el desbaste grueso: lijas de número 400, 600 y 800, pulido fino es recomendable usar lijas de número 1200, 1500, 2000 y 2500.



**Figura 41.** Banco de lijas del laboratorio de metalografía

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

##### **b. Probetas encapsuladas**



**Figura 42.** Probetas encapsuladas para el proceso de pulido automático

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**c. Retenedor de vanguardia para probetas encapsuladas**

El retenedor sirve para que las probetas encapsuladas se mantengan fijo en el porta muestras de la pulidora semiautomática, los retenedores tienen un rango de diámetro de 1 in (25 mm) como se muestra en la Figura 43.



**Figura 43.** Retenedor de vanguardia rango 1 in / 25 mm

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**d. Alúmina**

La alúmina es un material cerámico que posee un mayor auge en el uso de sus aplicaciones dentro del ensayo metalográfico por sus propiedades mecánicas y abrasivos que reside como su elevada resistencia y rigidez, la alúmina tiene un proceso de compactación que llega a temperaturas de 1500 °C y punto de fusión de 2050 °C, para mejorar sus propiedades mecánicas la alúmina en polvo debe soportar temperaturas menores a 1500 °C [39].



**Figura 44.** Alúmina Alfa 1 Micrómetro

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**e. Máquina para pulido con paño semiautomática Buehler EcoMet 30**

La pulidora semiautomática Buehler EcoMet 30 figura 45, es una máquina de un solo plato que tiene una operación sencilla para el pulido de las superficies de las probetas y posee un modo de sujeción hasta de cuatro probetas para un

proceso de operación continuo con desbaste manual, el sistema de control tiene una pantalla con comandos táctiles que son fáciles de operar [40] [41].



**Figura 45.** Máquina de pulido semiautomático Buehler EcoMet 30

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Tabla 14 se presenta las especificaciones técnicas del catálogo del fabricante Buehler para conocer el funcionamiento y parámetros necesarios para la operación de la pulidora semiautomática EcoMet 30.

**Tabla 14. Especificaciones de la pulidora semiautomática Buehler EcoMet 30**

<b>Especificaciones</b>	<b>Características</b>
Potencia de la máquina	100-240 VCA, 50/60 Hz, monofásica
Potencia del motor	440 W
Diámetro del plato	8 in (203 mm); 10 in (254 mm); 12 in (305 mm)
Velocidad de rueda del plato	50-500 rpm en incrementos de 50 rpm
Potencia del motor del cabezal	300 W
Velocidad de rueda del cabezal	30-200 rpm en incrementos de 10 rpm
Fuerza de muestra central	5-40 lb (25-200 N)
Fuerza de muestra única	1-10 lb (5-40 N)

Tabla de las especificaciones técnicas de la pulidora semiautomática de un solo plato Buehler EcoMet 30. Fuente: BUEHLER.

**f. Equipo para ataque químico**



**Figura 46.** Nitales para ataque químico de metales

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**g. Franela**

**h. Equipo de protección personal**

- Visor
- Guantes
- Mascarilla
- Zapatos de uso industrial
- Mandil

**i. Microscopio invertido Buehler ViewMet**



**Figura 47.** Microscopio invertido Buehler ViewMet

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

El microscopio que se utiliza para la metalografía es el microscopio invertido ViewMet de la Figura 47, que sirve para la visualizar la microestructura del metal y el tamaño del grano, el diseño es compacto y versátil para el manejo del usuario para realizar el respectivo análisis [42].

**Tabla 15. Numeración y característica del microscopio ViewMet Buehler**

Número de pieza	Características
0760-0100	Mesa mecánica con recorrido XY de 15 x 15 mm Iluminación 6V/30 W Plan Achromat 5x, 10x, 20x y 50x

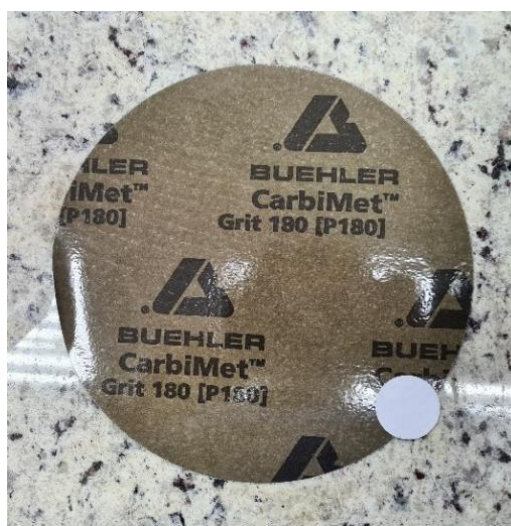
Tabla de la configuración del microscopio ViewMet de Buehler. Fuente: BUEHLER.

En la Tabla 15 se presenta las especificaciones técnicas del catálogo del fabricante Buehler para conocer la numeración y la configuración para el microscopio invertido ViewMet.

## 5. PROCEDIMIENTO

### a. Insertar las lijas adhesivas en las pulidoras semiautomáticas

Las lijas adhesivas que están disponibles en el laboratorio de metalografía son las de superficie CarbiMet de carburo de silicio de 8 y 10 in de diámetro con un tamaño de grano de 180, 240 y 600 que se van a utilizar para el proceso del desbaste grueso como se muestra en la figura 48. Para insertar la lija se debe despegar el adhesivo y adherirlo hacia la superficie del disco de giro de la pulidora.



**Figura 48.** Lijas adhesivas de 8 in de diámetro para la pulidora semiautomática

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### b. Configurar parámetros de la pulidora semiautomática

En este proceso cada parámetro de operación debe ser modificado en el panel táctil de control de la pulidora, para seleccionar una operación se debe pulsar



el icono de funcionamiento y para ir aumentando o disminuyendo los valores se debe pulsar las flechas de arriba o abajo de ser el caso.

En la tabla 16 se representa los rangos de velocidad del disco y velocidad de porta muestras para el proceso de pulido con tipo de lija CarbiMet que es de uso general para metales ferrosos y no ferrosos.

**Tabla 16. Método de preparación para desbaste grueso uso general**

Superficie	Abrasivo/Tamaño	Velocidad del disco RPM	Velocidad del porta muestras RPM	Dirección plato/porta muestras	Fuerza (N)	Tiempo (min)
CarbiMet	SiC/180-240-600 enfriado con agua	200 – 300	25 - 150	Igual	20 – 30	1:30

Tabla de parámetros de operación para desbaste grueso en probetas de metales de uso general. Fuente: ASTM E3-11.

**c. Realizar el proceso del desbaste grueso**

1. Colocar el retenedor de vanguardia en la probeta encapsulada como se muestra en la figura 49.



**Figura 49.** Probeta encapsulada con retenedor de vanguardia

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

- d. Ingresar la probeta dentro del porta muestras con la superficie del metal en dirección hacia la lija adhesiva, el retenedor sujeta en la parte superior del porta muestras como se muestra en la figura 50.



**Figura 50.** Ingreso de la probeta encapsulada en el porta muestras

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

- e. Establecer los parámetros de operación con valores que se encuentren entre los rangos que se detallan en la tabla 16.
- f. Para iniciar el proceso primero se debe mantener presionado los dos botones de color verde que se encuentran en la parte superior del brazo del porta muestras durante 2 segundos hasta que el porta muestras descienda hasta la superficie de la lija, luego vuelva a presionar los botones verdes durante 2 segundos hasta que desciendan los pistones de fuerza y automáticamente el proceso de pulido se va a iniciar.

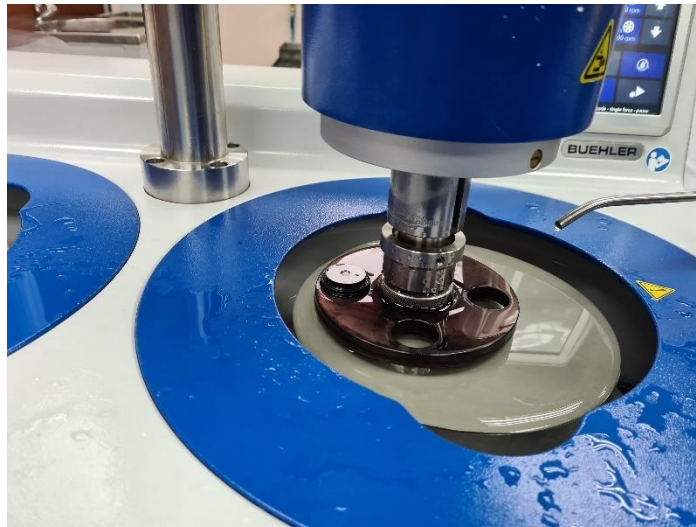


**Figura 51.** Botones para el accionamiento de los pistones y descenso del porta muestras.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



- g. Una vez que el tiempo de pulido culmine, los pistones y el porta muestras de manera automática van a elevarse y a partir de ahí se puede retirar la probeta encapsulada.
- h. El proceso se debe repetir, pero se reemplaza la lija adhesiva por un tamaño de grano de 240 y después por la de 600, para esta operación es recomendable usar la pulidora automática de doble plato de la figura 52 y colocar ahí las lijas de 240 y 600 para agilizar los procesos de pulido.



**Figura 52.** Pulido de probetas en pulidora semiautomática de doble plato

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**i. Pulido fino en el banco de lijas**

El proceso del pulido fino se necesita que la probeta obtenga una superficie espejo y para esto la probeta debe pasar por un segundo pulido con lijas de 1000, 1200, 1500, 2000 y 2500 para esta operación se debe mantener una posición vertical de la probeta con la superficie de la lija y mantener un movimiento constante hacia arriba en contacto con la lija como se indica en la figura 53, es importante que el vertido de agua también sea constante durante el proceso de pulido.



**Figura 53.** Movimiento de la probeta encapsulada en el banco de lijas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **j. Pulido con paño**

Para el proceso del pulido con paño se utiliza la alúmina que se debe humedecer con un 7% de agua por cada gramo. En la pulidora semiautomática se establece el mismo procedimiento que el desbaste grueso solo que se cambia la lija adhesiva por una tela de paño DGD Ultra de color rojo.



**Figura 54.** Máquina pulidora semiautomática con paño adhesivo

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

El paño que se utiliza esta normado con calidad DGD Ultra de color rojo de 203 mm (8 in) de diámetro el cual está implementado para pasos de pulido iniciales con materiales de uso general.

En la Tabla 17 se muestra el tipo de superficie del paño para el pulido con su respectivo abrasivo recomendado y su velocidad relativa de operación.

**Tabla 17. Método para preparación de pulido en paño para probetas de metales en general**

Superficie/Abrasivo	Lubricante	Velocidad del disco RPM	Velocidad del porta muestras RPM	Dirección plato/porta muestras	Fuerza (N)	Tiempo (min)
DGD Rojo/Alúmina	Agua	200-400	20 – 80	Igual	20 - 40	5:00 - 7:30

Tabla de parámetros para pulido en paño con superficie abrasiva de uso general para metales. Fuente: Buehler.

**k. Ataque químico**

Se utiliza la cantidad de nital hasta que cubra por completo la superficie de la probeta, entre estas composiciones van a depender el tipo del nital para los distintos materiales que este compuesto la probeta.

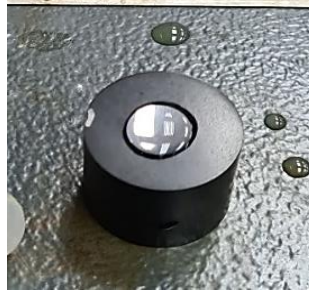
**Tabla 18. Reactivos para ataque químico en metales ferrosos y no ferrosos**

Ataque	Composición	Aplicación	Tiempo (seg)
Nital 2%	1-5 ml ácido nítrico 95-99 ml alcohol etílico	Uso para revelar límites de grano de ferrita para aceros de medio y alto carbono	30
Cobre y sus aleaciones	20 g FeCl <sub>3</sub> , 5 ml HCl 1 g CrO <sub>3</sub> 100 mL agua	Uso para revelar límites de grano en aleaciones de cobre	30-40
Keller's	2 ml ácido fluorhídrico 3 ml ácido clorhídrico 5 ml ácido nítrico 190 ml de agua	Uso para revelar límites de grano en aleaciones de aluminio	40-60

Tabla de los reactivos para ataque químico en metales ferrosos y no ferrosos. Fuente: ASM HANDBOOK.

En la Tabla 18 se muestra algunas características para metales ferrosos y no ferrosos con relación al ataque químico en la superficie del metal a base de composición del nital, Keller's y Picral según la norma ASTM E340-00 para el ataque químico según el material de la probeta.

En la Figura 55 se puede visualizar el ataque químico del nital 2% en la superficie del metal ferroso de acero AISI 1018.



**Figura 55.** Ataque químico de la probeta del acero AISI 1018

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **a. Observación microscópica**

La observación en el microscopio metalográfico se lo realiza con su sistema de iluminación para ver la estructura del metal y el límite de grano con aumentos del lente del plan acromático de 5x, 10x, 20x, 30x, 40x y 100x. Después de la visualización en la pantalla se realiza una captura de imagen para que se guarde en la computadora para que ser comprobada a los especímenes que establece la Norma ASTM E1351-96.

#### **b. RESULTADOS**

1. Probetas con proceso de pulido semiautomático de desbaste grueso en la figura 56.



**Figura 56.** Superficies de las probetas con el desbaste grueso de los metales: a. Bronce fosfórico SAE 40, b. Aluminio Prodax, c. Acero AISI 1018, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

2. Acabado de las probetas con el pulido fino del banco de lijas en la Figura 57.



**Figura 57.** Pulido fino en la superficie de las probetas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

3. Pulido en paño con el abrasivo alúmina en la Figura 58.



**Figura 58.** Pulido en paño en la superficie de las probetas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

4. Ataque químico de las probetas en la Figura 59.



**Figura 59.** Ataque químico en cada una de las probetas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

5. Capturas de la superficie microscópica en el microscopio metalográfico.

Las siguientes Figuras 60, 61 y 62 representan los ensayos metalográficos del acero, aluminio y bronce que se realizaron siguiendo todo el proceso en la guía de practica de laboratorio.





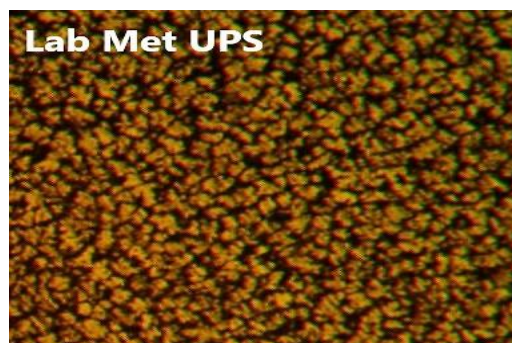
**Figura 60.** Microestructura metalográfica del acero AISI 1018

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



**Figura 61.** Microestructura metalográfica del aluminio Prodax

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



**Figura 62.** Microestructura metalográfica del bronce fosfórico SAE 40

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### c. CONCLUSIONES

- Se identificó que para el desbaste grueso se debe utilizar las lijas adhesivas recomendadas por el fabricante desde un tamaño de grano de 180, 240 y 600 en las pulidoras semiautomáticas, así como el pulido fino con lijas de 1200, 1500, 2000 y 2500 manteniendo una sola posición de lijado y vertido de agua constante.

- Se estableció parámetros recomendados para la operación de la máquina pulidora en base a la Norma ASTM E3-11 para el desbaste grueso con una velocidad del plato nominal de 250 RPM y velocidad de giro del porta muestras de 100 RPM, los dos deben girar en el mismo sentido durante un periodo de tiempo de 1 min y 30 segundos.
- Se realizó un ataque químico variando el porcentaje de nital en la probeta según la cantidad concentrada que recomienda la norma ASTM E407-99 que para el caso del acero AISI 1018 se utilizó una concentración de 1-5 ml de ácido nítrico y 95-99 de ml alcohol etílico con un tiempo de ataque de 30 segundos.

#### **d. RECOMENDACIONES**

- En el banco de lijas debe existir una comodidad de trabajo para que el desbaste grueso y el pulido fino obtenga una mejor calidad de acabado.
- Para el pulido fino de las probetas es recomendable usar agua durante el proceso de lijado y mantener a la probeta en una posición de 90° al momento de cambiar de lijas y mantener un movimiento constante sin cambio de sentido de desbaste para evitar crear rayaduras en la superficie del metal.
- En el proceso de pulido no se recomienda utilizar más de dos probetas en cada paño de pulido y desbaste por los residuos que quedan al momento de lijar.

#### **e. BIBLIOGRAFÍA**

Yang, R., Qi, Z., Gao, Y., Yang, J., Zhou, Y., Liu, H.,... Jiao, J. (2020). Efectos de los soles de alúmina en la sinterización de cerámicas de  $\alpha$ -alúmina. *Ceramics International*. doi: 10.1016 / j.ceramint.2020.05.125

[https://www.neurtek.com/descargas/neurtek\\_guia\\_consumibles\\_metalograficos\\_es.pdf](https://www.neurtek.com/descargas/neurtek_guia_consumibles_metalograficos_es.pdf)


<https://matensayos.webcindario.com/tecnicametalografica/reactivos.pdf>

<https://www.buehler.com.es/viewmet-inverted-microscope.php>

<https://www.buehler.com.es/ecoMet-30-automatic-grinder-polisher.php>

[https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/9373/AMP\\_reparacionesMetalograficas.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/9373/AMP_reparacionesMetalograficas.pdf)

## 2.4 Guía de práctica recomendada para el horno de temple y revenido

 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR</b>		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL HORNO DE TEMPLE Y REVENIDO NABERTHERM
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Tratamiento térmico del material
- Práctica no. 5
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 180 min

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Ensayo de templabilidad y revenido para metales ferrosos.
- Justificación:** Conocer los niveles de dureza con distintos tipos de tratamientos térmicos.
- Objetivo General**

Realizar un ensayo de templado y revenido de los aceros AISI O1 K460 y AISI 4340 para conocer las propiedades de dureza del material.
- Objetivos Específicos**
  - Desarrollar un procedimiento ordenado que deben alcanzar las probetas sometidas a tratamientos térmicos de temple y revenido.
  - Establecer parámetros para temperaturas de calentamiento y tiempos de operación durante los procesos de temple y revenido.
  - Determinar los niveles de dureza que pueden obtener las probetas bajo tratamientos térmicos de temple y revenido según la norma ASTM E18-03.

### 3. MARCO TEÓRICO

El horno para tratamiento térmico de temple tiene un sistema de aislamiento mediante ladrillos refractarios que sirven para resistir elevadas temperaturas y operaciones con condiciones extremas de trabajo, los hornos de cámara para temple, recocido y soldadura pueden llegar hasta temperaturas de 1280°C, además poseen un mínimo consumo de energía por su sistema aislante. La cámara de



calentamiento tiene un interior amplio y su transmisión de calor se encuentra en las paredes laterales y la parte inferior [43].

El proceso para realizar el ensayo de tratamientos térmicos de temple y revenido consta de las siguientes operaciones:

1. Preparar las probetas
2. Precalentar al horno de temple
3. Insertar las probetas con los accesorios del horno
4. Sumergir a las probetas dentro del aceite para el templado
5. Medir las durezas en HRC de las probetas
6. Preparar el horno de revenido
7. Insertar las probetas con los accesorios del horno
8. Enfriar las probetas a temperatura ambiente
9. Medir las durezas en HRC de las probetas

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **a. Probeta de acero AISI O1 K460**

##### **b. Probeta de acero AISI 4340**



**Figura 63.** Probetas de acero: a. Probeta de acero AISI O1 K460, b. Probeta de acero AISI 4340,

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva

##### **c. Horno de temple**



**Figura 64.** Horno para temple, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### d. Horno de revenido



**Figura 65.** Horno de revenido

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### e. Durómetro



**Figura 66.** Máquina para medir la dureza de los metales,

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### f. Equipo de protección personal (EPP)

- Mandil
- Zapatos de uso industrial
- Traje aluminizado para altas temperaturas

### 5. PROCEDIMIENTO

#### a. Medir las durezas de las probetas de acero

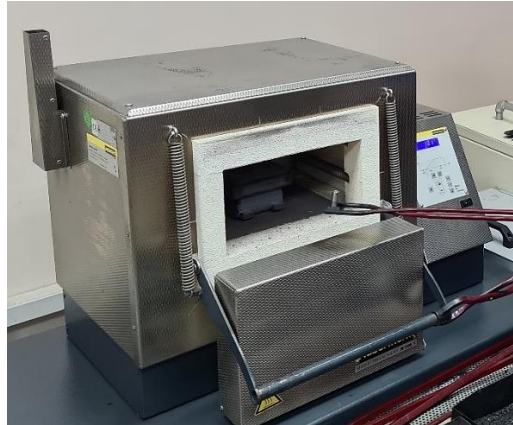
Para el primer procedimiento se debe calibrar el durómetro con una carga preestablecida de 150 kgf para medir las durezas en HRC de las probetas de acero O1 K460 y AISI 4340.

#### b. Configuración de parámetros para el horno de temple

Para este ensayo de templabilidad es necesario insertar los parámetros para el calentamiento del horno hasta que llegue a una temperatura óptima de 780 °C.

### **c. Ingreso de las probetas al horno**

En este proceso una vez que el horno ya se encuentre configurado con los parámetros de calentamiento, se debe ingresar las probetas en la cámara del horno con todos los accesorios indicados para la operación como se indica en la figura 67, una vez que estén dentro se debe tomar el tiempo de 1 h, 20 min y mantener al horno entre una temperatura de 780 y 820 °C.



**Figura 67.** Ingreso de las probetas de acero al horno precalentado

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### **d. Salida de las probetas**

Una vez que culmine el tiempo del proceso de calentamiento de la probeta se debe usar el equipo de protección y sujeción de probetas para ensayos de temple y revenido para retirar las probetas del horno como se muestra en la Figura 68.



**Figura 68.** Salida de las probetas de acero del horno de temple

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### e. Ensayo de templabilidad

Para el ensayo de templado se debe verificar que el compartimento del aceite se encuentre hasta el nivel de referencia indicado junto con el soporte de muestras para colocar las probetas de manera rápida apenas salgan del horno y estas deben ser sumergidos por completo de manera constante durante 2 minutos como se indica en la Figura 69.



**Figura 69.** Probetas sumergidas en el compartimento aceite DURIXOL W 25

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### f. Medición de dureza del ensayo de temple

En este proceso se debe sacar la probeta del aceite que estaba sumergida y limpiarla hasta quitar todo el aceite que se encuentra en la probeta para después realizar el ensayo de dureza de las dos probetas, la probeta debe estar colocado de manera vertical con el mayor diámetro hacia abajo y para ascender la probeta hacia la punta del indentador se debe girar el mando en sentido antihorario como se indica en la Figura 70.



**Figura 70.** Posición de la probeta y sentido de giro para la medición de dureza

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **g. Preparación del horno proceso de revenido**

Para esta operación se utiliza las mismas probetas que se usaron para el temple y se cambia hacia el método de configuración hacia el horno de revenido que se debe una temperatura entre 150-400 °C durante 1 hora.

#### **h. Ingreso de probetas a la cámara del horno**

Una vez que los parámetros del horno de revenido se encuentren configurados, se debe colocar las probetas en la cámara del horno como se representa en la Figura 71.



**Figura 71.** Ingreso de las probetas a la cámara del horno de revenido

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **i. Salida de las probetas**

Una vez que culmine el tiempo del proceso de calentamiento de la probeta se debe usar el equipo de protección y sujeción de probetas para ensayos de temple y revenido para retirar las probetas del horno.

#### **j. Ensayo de revenido**

Para el ensayo de revenido las probetas se deben enfriar a temperatura ambiente durante un tiempo de 20 minutos como se representa en la figura 72.



**Figura 72.** Proceso de enfriamiento a temperatura ambiente de las probetas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



#### **k. Medición de dureza del ensayo de revenido**

El proceso para medir la dureza en el revenido es el mismo procedimiento que el ensayo de temple y se debe repetir el proceso de medida como se representa en la figura 70.

### **6. RESULTADOS**

- a. Probetas con tratamiento térmico de templabilidad, ver en la figura 73.



**Figura 73.** Probetas de acero con ensayo de temple. Izquierda: Acero AISI O1 K460, Derecha: Acero AISI 4340, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

- b. Probetas con tratamiento térmico de revenido, ver en la figura 74.



**Figura 74.** Probetas de acero con ensayo de revenido. Izquierda: Acero AISI O1 K460, Derecha: Acero AISI 4340, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

c. Resultados de dureza sin tratamiento térmico, ver en tabla 19.

**Tabla 19. Promedio de las durezas en HRC de los metales ferrosos**

Material	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
Acero AISI O1 K460	56.1	58	57.4	57.2
Acero AISI 4340	30.2	28.7	31.3	30.1

Tabla de las durezas en Rockwell C de los aceros AISI O1 K460, AISI 4340, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

d. Resultados de dureza con el ensayo de temple, ver en tabla 20.

**Tabla 20. Promedio de las durezas de templado de aceros en HRC**

Material	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
Acero AISI O1 K460	62.5	64.5	65.1	64
Acero AISI 4340	54.4	57.9	53.4	55.2

Tabla de las durezas en Rockwell C de los aceros AISI O1 K460, AISI 4340, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

e. Resultados de dureza con el ensayo de revenido, ver en Tabla 21.

**Tabla 21. Promedio de las durezas de revenido de aceros en HRC**

Material	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
Acero AISI O1 K460	59.8	60.8	59.6	60.1
Acero AISI 4340	51.2	53	50.9	51.7

Tabla de las durezas en Rockwell C de los aceros AISI O1 K460, AISI 4340, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

En las Tablas 19, 20 y 21 se puede identificar las distintas medidas de dureza en Rockwell C (HRC) que se realizaron para el ensayo en el durómetro de los dos aceros bajo distintos tratamientos térmicos aplicados.

## **7. CONCLUSIONES**

- Se desarrolló un procedimiento con operaciones secuenciales para la aplicación de tratamientos térmicos en probetas de metales ferrosos para los hornos de temple y revenido.
- Se estableció parámetros para los ensayos de temple y revenido con valores óptimos de operación que para el tratamiento térmico de templado se utilizó una temperatura de calentamiento de 800 °C durante 1 hora con 20 minutos y para el tratamiento térmico de revenido se utilizó una temperatura de calentamiento de 250 °C durante 1 hora.
- Se determinó los niveles de dureza para los ensayos de temple y revenido según procedimiento de medida bajo la norma ASTM E18-03 el promedio de dureza para el acero AISI O1 K460 en el temple es de 64 HRC y el revenido de 60.1 HRC y para el acero AISI 4340 para el temple es de 55.2 HRC y revenido de 51.7 HRC.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para este ensayo de templabilidad es necesario que la probeta quede completamente vertida en el aceite durante su proceso de enfriamiento.
- Es recomendable que el durómetro se encuentre calibrado para agilizar la práctica del laboratorio.
- Para el ensayo de templado se debe tener en cuenta que al momento de extraer la probeta debe ser lo más pronto posible para verter en el aceite y se mantengan buenas propiedades de tratamiento.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

[https://www.nabertherm.com/produkte/labor/laboratory\\_spanish.pdf](https://www.nabertherm.com/produkte/labor/laboratory_spanish.pdf)

[https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor\\_gluehaerteofen#prod1pos](https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor_gluehaerteofen#prod1pos)

<https://www.fermetsac.com/producto/barras-aisi-4340/>


<https://ggdmetals.com.br/es/produto/aisi-o1/>



### CAPÍTULO III

#### RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SEGUIMIENTO REALIZADO A LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE METALOGRAFÍA

#### 3. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el proceso de corte automático en metales ferrosos y no ferrosos

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL ENSAYO DE CORTE AUTOMÁTICO EN PROBETAS METALOGRÁFICAS
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Corte metalográfico de las probetas acero AISI 1018, aluminio Prodax, bronce fosfórico SAE 40.
- Práctica no. 1
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 60 min

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Corte de muestras metalográficas
- Justificación:** Establecer parámetros para el corte en la dimensión de la probeta mediante la cortadora automática IsoMet Buehler.
- Objetivo General**

Conocer el funcionamiento de la cortadora automática Buehler IsoMet de alta velocidad para el corte de metales ferrosos y no ferrosos en las probetas metalográficas.
- Objetivos Específicos**
  - Identificar parámetros de funcionamiento de la cortadora para el acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40.
  - Verificar que el tipo de disco abrasivo sea de diamante 15 LC de 7 in de diámetro para procesos de corte con metales de uso general.
  - Seleccionar velocidades de corte y avances para el proceso de corte de materiales ferrosos y no ferrosos.

### 3. MARCO TEÓRICO

En el corte de las muestras para el ensayo metalográfico de las probetas se establece un proceso de análisis según el tipo de material para que no genere una excesiva fricción entre el disco de corte y la probeta para evitar discontinuidades en la estructura y propiedades del metal. Las cortadoras metalográficas utilizan distintos discos de corte para que la probeta no sufra ningún tipo de imperfecciones durante el proceso de rectificado y corte [35].

### 4. MATERIALES Y EQUIPOS

- a. Probeta acero AISI 1018
- b. Probeta aluminio Prodax
- c. Probeta bronce fosfórico SAE 40
- d. Cortadora automática Buehler IsoMet de alta velocidad
- e. Disco de corte de diamante 15 LC 7 in de diámetro
- f. Equipo de protección personal (EPP)

### 5. PROCEDIMIENTO

#### a. Sujeción de la probeta en la mesa de trabajo de la cortadora y selección de disco de corte

Para la sujeción de la muestra de la probeta con un diámetro de 11 mm (0.43 in) se tiene un mandril de una montura con una apertura para muestras de hasta 38 mm (1.5 in) de diámetro.

En la tabla 22 se establece el tamaño del diámetro del disco abrasivo para la cortadora automática que se utiliza para una serie de materiales y el que se encuentra disponible en el laboratorio para la cortadora metalográfica es el disco de diamante 15 LC de 7 in (178 mm).

**Tabla 22. Disco abrasivo para cortadora automática IsoMet**

<b>Materiales</b>	<b>Número de pieza</b>	<b>Tamaño del disco</b>
Materiales duros frágiles y uso general	11-4277	Disco de diamante 15 LC 7 in (178 mm)

Tabla de las especificaciones del disco abrasivo de diamante. Fuente: Buehler.

### b. Configuración de parámetros para el corte

En la tabla 23 se identifica los parámetros de corte y avance que se utilizan para el proceso de corte automático en las probetas metalográficas para ciertos tipos de materiales.

**Tabla 23. Parámetros óptimos de velocidad y avance para la máquina cortadora**

Material	Velocidad del disco (RPM)	Avance (mm /min)	Tiempo (min)
Acero de baja aleación, AISI 1018, 1045, 4140 y 4340	2000	5	3:00
Bronce fosfórico SAE 40	2000	7	1:50
Aluminio Produx	4000	5	2:30

Tabla de parámetros para la velocidad de corte y el avance de la cortadora metalográfica, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### c. Extracción de la probeta

Una vez que se culmine el proceso de corte se debe levantar la bandeja de seguridad para que el programa se suspenda y así extraer la probeta del mandril de una montura.

### d. Verificación de medidas

Cuando la probeta se extrae del mandril sujetador se debe verificar que las medidas sean las correctas para que en el caso de que no cumpla con lo estimado se debe repetir el procedimiento desde el primer paso.

## 6. RESULTADOS

Los resultados del proceso de corte se deben verificar con un calibrador para medir las longitudes de las probetas y verificar que la longitud de corte establecida en la cortadora automática fue la correcta.

## **7. CONCLUSIONES**

- Se identificó los tipos de parámetros que se deben considerar para el proceso de corte de la muestra metalográfica en base a la norma para preparación de probetas metalográficas que recomienda el fabricante en la cortadora automática IsoMet de alta velocidad.
- Se reconoció que el disco abrasivo de diamante 15 LC de 7 in de diámetro se encuentra disponible para los procesos de corte que sirve para cualquier tipo de material que se vaya a utilizar.
- Se estableció los parámetros de velocidad y avance recomendados bajo norma para los procesos de corte de distintos metales y para el acero AISI 1018 se tiene una velocidad de 2000 RPM con avance de 5 mm/min y un tiempo de operación de 2 min y 30 segundos, para el aluminio Produx se obtuvo un corte con una velocidad de 4000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de operación de 1 min y 50 segundos, para el bronce fosfórico se obtuvo un corte con una velocidad de 2000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de operación de 1 min y 50 segundos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- La cortadora automática IsoMet de alta velocidad es recomendable que tenga un juego de discos abrasivos de alta precisión CBN y AcuThin para el corte de materiales duros.
- Es importante que a partir de cada corte con probetas diferentes se vuelva a encontrar el origen de desplazamiento automático para el corte para así lograr disminuir los tiempos de operación.


## **9. BIBLIOGRAFÍA**

<https://www.neurtek.com/es/academia/metalografia-preparacion-de-muestras/cuales-son-los-pasos-a-tener-en-cuenta-en-una-preparacion-de-muestras>

<https://www.buehler.com.es/isoMet-high-speed-pro.php>

[https://www.oshma.com.ar/vscomunicacion/catalogos/BUEHLER\\_FN01517\\_IsoMet.pdf](https://www.oshma.com.ar/vscomunicacion/catalogos/BUEHLER_FN01517_IsoMet.pdf)

### 3.1 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía en el espectrofotómetro para metales ferrosos

		GUÍA DE PRÁCTICA PARA LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL ESPECTROFOTÓMETRO
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Espectroscopia del material del acero AISI 1018
- Práctica no. 2
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 3 h

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Análisis de la composición química del metal en el espectrofotómetro.
- Justificación:** Preparar la probeta para realizar la medición de ondas espectral del material.
- Objetivo General**  
Reconocer la composición química del acero AISI 1018 mediante el uso del espectrofotómetro para comprobar el tipo de metal que se solicita.
- Objetivos Específicos**
  - Preparar el equipo de análisis y medición del espectrofotómetro.
  - Conocer el porcentaje de la desviación estándar que tiene el acero AISI 1018 entre cada uno de sus componentes.
  - Comparar los datos obtenidos en el espectrofotómetro con los valores estándar de la composición química del material.

#### 3. MARCO TEÓRICO

El espectrofotómetro es una máquina de análisis espectroscopio con emisión óptica que tiene como objetivo en brindar resultados muy precisos según el tipo de metal de análisis, además posee detectores para que se identifique el tipo de material con su composición interna con otros metales como son el hierro, silicio, manganeso,

cromo, níquel, aluminio, entre otros. Esta máquina posee un alcance espectral que cubre de 130 a 180 nanómetros para cualquier tipo de metal [36].

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

- a. Probeta acero AISI 1018
- b. Espectrofotómetro OXFORD Instruments
- c. Pulidora semiautomática de doble plato Buehler
- d. Equipo de limpieza para el medidor espectral
- e. EPP

#### **5. PROCEDIMIENTO**

##### **a. Realizar un vaciado de gases con la bomba del espectrofotómetro**

Para el primer procedimiento se debe encender la bomba de vacío que se encuentra en el compartimento abajo del espectrofotómetro y verificar el tipo de gas que se debe utilizar antes de usar el espectrofotómetro en el cual el laboratorio de metalografía dispone de un gas noble argón de grado 5.

##### **b. Limpieza de la punta generadora espectral**

En este proceso se debe limpiar la boquilla de electrones donde se encuentra la punta que mide las ondas espectrales en la superficie del metal, por recomendación se debe repetir ese mismo proceso por cada tres mediciones para tener datos más exactos en la composición química del material.

##### **c. Pulir la superficie de la probeta**

En la pulidora semiautomática de doble plato se realiza el proceso del pulido superficial de la probeta donde se va a realizar la medida espectral del metal.

##### **d. Colocar la probeta en el soporte de muestras**

En este procedimiento se debe abrir el sujetador de muestras para colocar la probeta en un punto que cubra por completo el orificio donde se encuentra el generador de chispas y se regula de manera manual el medidor según la altura de la probeta que mide el rango espectral que se emite con el material.

### e. Análisis de la composición del metal en la superficie

Presionar el botón de START del espectrofotómetro para que inicie la operación y se recomienda tomar por lo menos tres medidas para encontrar una variación estándar que debe ser menor al 5% entre su composición para que los datos sean válidos.

## 6. RESULTADOS

Después de que el generador espectral realiza las medidas en distintos puntos de la superficie de la probeta, se obtiene el resultado que cada compuesto que se encuentra en el metal y debe ser comparado con la composición de la ficha técnica.

FMX 52U0016      Optik 52U0017								
Sample :								
Alloy : FE_100      Grade : 1.7131								
Mode : GS 25/11/2020 12:57:44								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	
4	98.5	0.186	0.173	L 0.907	0.0148	H 0.0572	L 0.0234	
5	98.5	H 0.190	0.170	L 0.903	0.0152	H 0.0570	L 0.0237	
6	98.5	H 0.192	0.174	L 0.917	0.0149	H 0.0562	L 0.0243	
10	98.5	H 0.191	0.170	L 0.910	0.0152	H 0.0551	L 0.0230	
11	98.5	0.186	0.168	L 0.886	0.0148	H 0.0535	L 0.0231	
Average	98.5	0.189	0.171	L 0.904	0.0150	H 0.0558	L 0.0235	
	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	
4	0.0018	0.0335	0.0017	0.0032	0.0621	< 0.0005	0.0024	
5	0.0022	0.0352	0.0020	0.0032	0.0644	< 0.0005	0.0019	
6	0.0022	0.0343	0.0023	0.0041	0.0641	< 0.0005	0.0021	
10	0.0021	0.0349	0.0018	0.0032	0.0592	< 0.0005	0.0023	
11	0.0023	0.0346	0.0020	0.0029	0.0600	< 0.0005	0.0022	
Average	0.0021	0.0345	0.0020	0.0033	0.0620	< 0.0005	0.0022	
	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr	
4	0.0012	< 0.0100	0.0041	0.0031	0.0015	0.0011	0.0062	
5	0.0012	< 0.0100	0.0041	0.0032	0.0014	0.0007	0.0060	
6	0.0009	< 0.0100	0.0040	0.0033	0.0015	0.0006	0.0059	
10	0.0015	< 0.0100	0.0039	0.0026	0.0016	0.0005	0.0056	
11	0.0006	< 0.0100	0.0041	0.0031	0.0016	0.0006	0.0058	
Average	0.0011	< 0.0100	0.0040	0.0030	0.0015	0.0007	0.0059	
	Zn	Bi	As	Se	Sb			
4	0.0021	0.0153	0.0039	0.0108	0.0034			
5	0.0022	0.0138	0.0041	0.0109	0.0057			
6	0.0021	0.0138	0.0042	0.0103	0.0063			
10	0.0022	0.0140	0.0037	0.0105	0.0066			
11	0.0020	0.0150	0.0043	0.0108	0.0074			
Average	0.0021	0.0144	0.0040	0.0107	0.0059			

**Figura 75.** Datos obtenidos del análisis del acero AISI 1018 en el espectrofotómetro,

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Figura 75 se representa la composición porcentual de los datos obtenidos del espectrofotómetro de las mediciones del acero AISI 1018 a distintos puntos.

En la Tabla 24 se identifica el error porcentual que se obtiene al comparar el promedio de las medidas con los valores bajo normal del acero AISI 1018.

**Tabla 24. Comparación de la composición química del material del ensayo y bajo norma**

<b>Elemento</b>	<b>Hierro</b>	<b>Carbono</b>	<b>Silicio</b>	<b>Manganeso</b>
Promedio	98.5	0.187	0.170	0.899
Valores bajo norma	98.7	0.15 - 0.2	0.15 - 0.35	0.6 - 0.9
Error porcentual	0.20	----	----	----

Tabla de medidas de la composición química del acero AISI 1018 del ensayo del espectrofotómetro,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 7. CONCLUSIONES

- Se preparó la configuración de funcionamiento del espectrofotómetro y la posición de la probeta con parámetros que se establecen en el catálogo del fabricante.
- Se conoció las desviaciones estándar que tiene el acero AISI 1018 en todos sus elementos en base a las tres mediciones en distintos puntos de la superficie del metal.
- Se comparó los resultados obtenidos de la composición química del acero AISI 1018 y se tiene un rango de desviación estándar menor al 5% el cual es aceptable para comprobar que el ensayo es correcto.

## 8. RECOMENDACIONES

- Para la obtención de datos en el ensayo del espectrofotómetro es de preferencia tomar mínimo tres datos de medida para calcular un promedio entre los elementos para obtener datos más precisos.
- Por cada tres puntos de medidas que realice el espectrofotómetro se debe limpiar el sujetador de la probeta y la punta espectral generadora.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

<https://www.astm.org/Standards/E350.htm>

<https://www.pedeca.es/oxford-instruments-foundry-master-xpert/>

<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E3-11.htm>



### 3.2 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para la prensa de montaje con metales ferrosos y no ferrosos

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL ENCAPSULADO DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Encapsulado del acero AISI 1018, aluminio Produx, bronce fosfórico SAE 40
- Práctica no. 3
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 60 min

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Encapsulado con la prensa de montaje de metales ferrosos y no ferrosos.
- Justificación:** Preparar el material para el proceso de montaje por compresión.
- Objetivo General**

Realizar un proceso de montaje por compresión con la máquina encapsuladora bajo parámetros de funcionamiento con metales ferrosos y no ferrosos.

- Objetivos Específicos**

- Conocer el funcionamiento de la máquina encapsuladora.
- Identificar los tipos de compuestos de montaje que se deben utilizar para el aluminio PRODEX, acero AISI 1018 y bronce fosfórico SAE 40.
- Establecer parámetros para mantener la calidad de los bordes del encapsulado.

#### 3. MARCO TEÓRICO

El encapsulado se realiza en el caso de que el material no tenga el tamaño necesario para el análisis de toda su estructura con estudios de dureza, para esto las prensas de montaje poseen compuestos para adaptar mediante compresión estas muestras de metal. Este proceso se realiza en caliente para obtener un mejor acabado en los bordes de los compuestos, además esta es una operación menos costosa en comparación a otros procesos de montaje [37].

#### 4. MATERIALES Y EQUIPOS

- a. Probeta de acero AISI 1018
- b. Probeta de aluminio Prodax
- c. Probeta de bronce fosfórico SAE 40
- d. Prensa de montaje Buehler SimpliMet 4000
- e. Compuesto de montaje por compresión PhenoCure
- f. Equipo para limpieza de la prensa de montaje
- g. Equipo de protección personal (EPP)

#### 5. PROCEDIMIENTO

##### a. Identificar el panel de control de la prensa de montaje

En la figura 76 se puede visualizar el panel de control con todas las funciones que se necesitan para realizar el encapsulado de las probetas.



**Figura 76.** Panel de control de la prensa de montaje automática SimpliMet 4000

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

##### b. Elevar el pistón de la muestra

Para este proceso se debe presionar el botón de EXTEND de la figura 83 para que el pistón se eleve hasta la parte superior, una vez que el pistón se haya elevado por completo se debe colocar la probeta en el centro de muestras.

**c. Descender el pistón**

Presionar el botón de RETRACT que se encuentra en el panel de control para que el pistón vaya descendiendo y como recomendación pulse el botón durante 2 segundos para que el pistón baje automáticamente.

**d. Medir la longitud de la muestra encapsulada**

Para este procedimiento se debe usar un calibrador para medir la longitud que se necesita para las muestras encapsuladas en caso de realizar un proceso de pulido es recomendable que la longitud de la muestra sea de 50 mm.

**e. Agregar el compuesto de montaje**

Una vez que el pistón se encuentre descendido se debe agregar el compuesto de montaje PhenoCure y la cantidad del compuesto se debe agregar hasta la parte pulida del pistón inferior como se muestra en la figura 77.



**Figura 77.** Vertido del PhenoCure en el compartimento de la muestra

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**f. Cerrar la compuerta del molde superior**

Una vez que se encuentre llenado el compuesto de montaje se debe mantener presionado el botón de RETRACT hasta que el pistón inferior descienda por completo y luego cerrar la compuerta del molde.

**g. Configurar parámetros para tiempos de calentamiento y enfriamiento**

Para el calentamiento se debe mantener presionado el botón de HEAT TIME hasta que la pantalla parpadee, con los botones de +, - que se encuentra en el panel de control se pulsan para aumentar o disminuir el tiempo de calentamiento de calentamiento que va a depender del tipo de material y el tamaño de la muestra.

En el enfriamiento es recomendable activar la función de SMART COOL para asegurar una temperatura optima de montaje con un uso mínimo de agua, los tiempos de operación para el calentamiento y enfriamiento se encuentran en la tabla 25.

**Tabla 25. Parámetros de montaje para muestras con diámetro de 1 in**

<b>Compuesto de montaje</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Presión</b>	<b>Tiempo de calentamiento</b>	<b>Tiempo de enfriamiento</b>
PhenoCure	180° C	290 bar	1 min y 30 seg.	2 min y 30 seg.

Tabla de parámetros para un molde individual de 220 V en la encapsuladora Buehler SimpliMet 4000. Fuente: BUEHLER.

#### **h. Iniciar el proceso de encapsulado**

Una vez que todos los parámetros se encuentren insertados se procede a iniciar el proceso de encapsulado y para esto se debe presionar el botón de START para que todos los indicadores entren funcionamiento, los tiempos de calentamiento y enfriamiento, así como los botones de operación ante cualquier emergencia se encuentran en el panel de control como se identifica en la figura 76.

#### **i. Retirar el encapsulado de la prensa de montaje**

Cuando el proceso del encapsulado se culmine, la prensa de montaje por compresión emitirá un sonido para verificar que el proceso ha terminado y después hay que tener presionado el botón de EXTEND para que se eleve el pistón de manera automática y luego desbloquear la tapa del molde para retirar la muestra encapsulada.

### **6. RESULTADOS**

En la Figura 78 se puede identificar el encapsulado de las tres probetas con acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40, el molde tiene un diámetro de 25 mm y una longitud de 50 mm, estas medidas en específico se utilizan para realizar procesos de pulido en las pulidoras semiautomáticas.



**Figura 78.** Encapsulado de las probetas de acero AISI 1018, aluminio Prodax, bronce fosfórico SAE 40, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 7. CONCLUSIONES

- Se conoció el funcionamiento de la prensa de montaje con métodos de operación a distintos voltajes y componentes de montaje que pueden variar las características del encapsulado.
- Se identificó que el compuesto de montaje PhenoCure que se encuentra es recomendado por el fabricante para uso general para una amplia variedad de materiales ferrosos y no ferrosos.
- Se estableció los parámetros de operación para metales de uso general con 290 bar de presión, 180° C de temperatura de calentamiento y un tiempo de calentamiento y enfriamiento de 1:30 min y 2:30 min respectivamente.

## 8. RECOMENDACIONES

- Para cada proceso de encapsulado es recomendable realizar una limpieza dentro y fuera del pistón inferior para evitar que fragmentos del material se adhieran a la superficie del metal en un nuevo encapsulado.
- Los parámetros de encapsulado pueden variar de acuerdo con el tamaño del diámetro de la muestra y es necesario que se verifique los valores preestablecidos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA


<https://www.neurtek.com/es/metalografia-plastico/prensa-metalografica/opal-x-press>

<http://www.cenim.csic.es/index.php/laboratorios-de-investigacion/213-metalografia>

<https://www.buehler.com.es/simpliMet-4000-mounting-press.php>

<https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=Prensa%20de%20montaje&>

### 3.3 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el ensayo metalográfico con metales ferrosos y no ferrosos

		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL ENSAYO METALOGRÁFICO EN METALES FERROSOS Y NO FERROSOS
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Ensayo metalográfico del acero AISI 1018, aluminio Prodax, bronce fosfórico SAE 40
- Práctica no. 4
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 6 h

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Preparación de probetas metalográficas ferrosas y no ferrosas.
- Justificación:** Preparar el desbaste y pulido de la superficie de las probetas para visualizar la microestructura del metal en el microscopio.
- Objetivo General**

Preparar las probetas metalográficas mediante procesos de desbaste, pulido y ataque químico para la visualización de la microestructura de la superficie del metal en el microscopio.
- Objetivos Específicos**
  - Identificar el tipo de lijas utilizadas para el desbaste fino y grueso.
  - Establecer parámetros recomendados para el pulido con lijas adhesivas y en paño de las probetas.
  - Realizar un ataque químico con nital 2%, keller's y picral en la superficie de las probetas según el tipo de metal para observar la microestructura de la probeta en el microscopio metalográfico.

#### 3. MARCO TEÓRICO

La metalografía se utiliza para visualizar la microestructura y tamaño del grano de una probeta según el tipo de metal. La muestra de la probeta sigue una serie de

procesos antes de llegar al microscopio y pasa por una serie de análisis que se cuantifican en variables de medición en parámetros de corte y desbaste hasta que la superficie de la probeta cuente con una forma plana con el punto de contacto y definir un ataque químico para eliminar cualquier tipo de imperfecciones, seguido de un proceso de secado con un paño de seda para verificar la estructura en el microscopio metalográfico.

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

- a. Banco de lijas
- b. Lijas número 1000, 1200, 1500, 2000 y 2500
- c. Lijas adhesivas CarbiMet de 180, 240 y 600
- d. Probeta encapsulada de acero AISI 1018
- e. Probeta encapsulada de aluminio Prodax
- f. Probeta encapsulada de bronce fosfórico SAE 40
- g. Retenedor de vanguardia para probetas encapsuladas
- h. Alúmina
- i. Máquina para pulido con paño semiautomática Buehler EcoMet 30
- j. Equipo para ataque químico
- k. Microscopio invertido Buehler ViewMet
- l. Franela
- m. Guantes
- n. EPP

#### **5. PROCEDIMIENTO**

##### **a. Insertar las lijas adhesivas en las pulidoras semiautomáticas**

Pegar las lijas adhesivas CarbiMet de carburo de silicio de 8 in de diámetro con un tamaño de grano de 180, 240 y 600 en el plato de la pulidora semiautomática.

##### **b. Configurar parámetros de la pulidora semiautomática**

En este proceso cada parámetro de operación debe ser modificado en el panel táctil de control de la pulidora, para seleccionar una operación se debe pulsar el icono de funcionamiento y para ir aumentando o disminuyendo los valores se debe pulsar las flechas de arriba o abajo de ser el caso.

En la tabla 26 se representa los valores de velocidad del disco y velocidad de porta muestras para el proceso de pulido con tipo de lija CarbiMet que es de uso general para metales ferrosos y no ferrosos.

**Tabla 26. Parámetros de operación para desbaste grueso en metales de uso general**

Superficie	Abrasivo/Tamaño	Velocidad del disco RPM	Velocidad del porta muestras RPM	Dirección plato/porta muestras	Fuerza (N)	Tiempo (min)
CarbiMet	SiC/180-240-600 enfriado con agua	250	50	Igual	25	1:30

Tabla de parámetros de operación para desbaste grueso en probetas de metales de uso general. Fuente: ASTM E3-11.

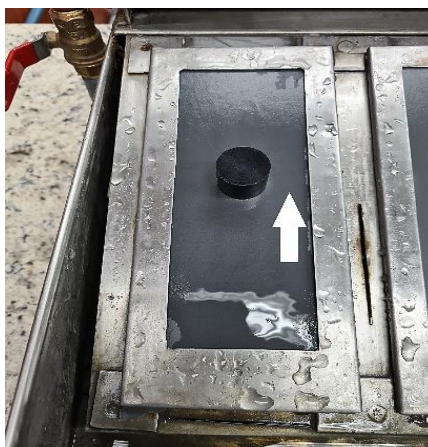
**c. Realizar el proceso del desbaste grueso**

1. Colocar el retenedor de vanguardia en la probeta encapsulada.
2. Ingresar la probeta dentro del porta muestras con la superficie del metal en dirección vertical hacia la lija adhesiva, el retenedor se sujeta en la parte superior del porta muestras.
3. Establecer los parámetros de operación con valores que se encuentren entre los rangos que se detallan en la tabla 26.
4. Para iniciar el proceso primero se debe mantener presionado los dos botones de color verde que se encuentran en la parte superior del brazo del porta muestras durante 2 segundos hasta que el porta muestras descienda hasta la superficie de la lija y volver a presionar los botones para iniciar el proceso.
5. Una vez que el tiempo de pulido culmine, los pistones y el porta muestras de manera automática van a elevarse y a partir de ahí se puede retirar la probeta encapsulada.



#### d. Pulido fino en el banco de lijas

El proceso del pulido fino se necesita que la probeta obtenga una superficie espejo y para esto la probeta debe pasar por un pulido con lijas de 1000, 1200, 1500, 2000 y 2500 para esta operación se debe mantener un movimiento constante hacia arriba en contacto con la lija como se indica en la figura 86, es importante que el vertido de agua también sea constante durante el proceso de pulido.



**Figura 79.** Guía de movimiento para el pulido fino en el banco de lijas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### e. Pulido con paño

Para el proceso del pulido con paño se utiliza la alúmina que se debe humedecer con un 7 % de agua por cada gramo del compuesto, para el pulido en paño se cambia la lija adhesiva por una tela de paño DGD Ultra de color rojo.

En la Tabla 27 se muestra el tipo de superficie del paño para el pulido con su respectivo abrasivo recomendado y su velocidad relativa de operación.

**Tabla 27. Valores de operación para el pulido en paño para metales ferrosos y no ferrosos**

Superficie/Abrasivo	Lubricante	Velocidad del disco RPM	Velocidad del porta muestras RPM	Dirección plato/porta muestras	Fuerza (N)	Tiempo (min)
DGD Rojo/Alúmina	Agua	150	30	Igual	35	10

Tabla de parámetros para pulido en paño con superficie abrasiva de uso general para metales, Fuente: Buehler.

#### f. Ataque químico

Se utiliza la cantidad de nital hasta que cubra por completo la superficie de la probeta, que por lo general son dos gotas de aplicación del compuesto químico en la superficie del metal.

**Tabla 28. Reactivos para ataque químico en superficie de probetas de metales ferrosos y no ferrosos**

Ataque	Aplicación	Tiempo (seg)
Nital 2%	Uso para revelar límites de grano de ferrita para aceros de medio y alto carbono.	30
Nital 4%	Uso para revelar límites de grano de ferrita para aceros de alto carbono.	20
Cobre y sus aleaciones	Uso para revelar límites de grano en aleaciones de cobre.	30
Keller's	Uso para revelar límites de grano en aleaciones de aluminio.	40

Tabla de los reactivos para ataque químico en probetas de metales ferrosos y no ferrosos, Fuente: ASM HANDBOOK.

En la Tabla 28 se muestra algunas características para metales ferrosos y no ferrosos con relación al ataque químico en la superficie del metal a base de composición del nital, Keller's y Picral según la norma ASTM E340-00 para el ataque químico según el material de la probeta.

En la figura 80 se puede visualizar el ataque químico del Picral en la superficie del bronce fosfórico SAE 40.



**Figura 80.** Ataque químico de la probeta de bronce fosfórico SAE 40

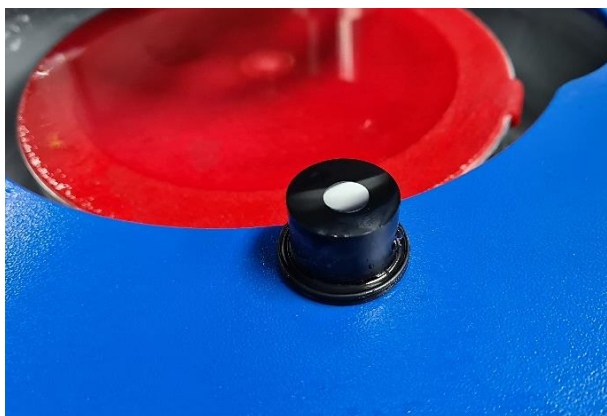
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### **g. Observación microscópica**

La observación en el microscopio metalográfico se lo realiza con su sistema de iluminación para ver la estructura del metal y el límite de grano con aumentos del lente del plan acromático de 5x, 10x, 20x, 30x, 40x y 100x. Después de la visualización en la pantalla se realiza una captura de imagen para que se guarde en la computadora para que ser comprobada a los especímenes que establece la norma ASTM E1351-96.

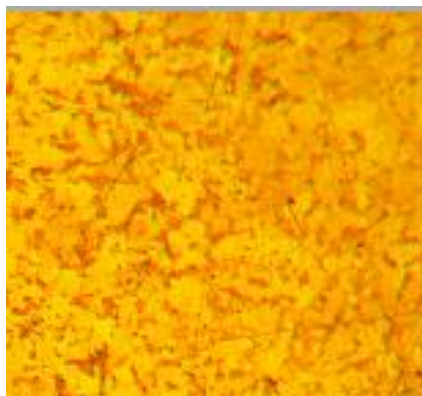
### **h. RESULTADOS**

1. Probetas con proceso de pulido semiautomático de desbaste grueso.
2. Acabado de las probetas con el pulido fino del banco de lijas.
3. Pulido en paño con el abrasivo alúmina, ver en la Figura 81.



**Figura 81.** Pulido en paño en la superficie de la probeta de aluminio Prodax,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

4. Ataque químico de las probetas.
5. Captura de la superficie en el microscopio metalográfico, ver en la figura 82.



**Figura 82.** Microestructura metalográfica del acero AISI 1018,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## **i. CONCLUSIONES**

- Se identificó que para el desbaste grueso se debe utilizar las lijas adhesivas recomendadas por el fabricante desde un tamaño de grano de 180, 240 y 600 en las pulidoras semiautomáticas, así como el pulido fino con lijas de 1200, 1500, 2000 y 2500 manteniendo una sola posición de lijado y vertido de agua.
- Se estableció parámetros recomendados para la operación de la máquina pulidora con lijas adhesivas CarbiMet para el desbaste grueso con una velocidad del plato nominal de 250 RPM y velocidad de giro del porta muestras de 50 RPM, los dos deben girar en el mismo sentido durante un periodo de tiempo de 1 min y 30 segundos.
- Se realizó un ataque químico variando el porcentaje de nital en la probeta según la cantidad concentrada que recomienda el manual metalográfico ASM HANDBOOK.

## **j. RECOMENDACIONES**

- En el banco de lijas debe existir una comodidad de trabajo para que el desbaste grueso y el pulido fino obtenga una mejor calidad de acabado.
- En el proceso de pulido no se recomienda utilizar más de dos probetas en cada paño de pulido y desbaste por los residuos que quedan al momento de lijar un material distinto a otro.

## **k. BIBLIOGRAFÍA**

Yang, R., Qi, Z., Gao, Y., Yang, J., Zhou, Y., Liu, H.,... Jiao, J. (2020). Efectos de los soles de alúmina en la sinterización de cerámicas de  $\alpha$ -alúmina. *Ceramics International*. doi: 10.1016 / j.ceramint.2020.05.125

[https://www.neurtek.com/descargas/neurtek\\_guia\\_consumibles\\_metalograficos\\_es.pdf](https://www.neurtek.com/descargas/neurtek_guia_consumibles_metalograficos_es.pdf)

<https://matensayos.webcindario.com/tecnicametalografica/reactivos.pdf>


<https://tecmicro.es/wp-content/uploads/2018/01/tec-metalografia-2018.pdf>

<https://www.buehler.com.es/nikon-lv150n-eclipse-upright-microscope.php>

<https://www.buehler.com.es/viewmet-inverted-microscope.php>

<https://www.buehler.com.es/ecoMet-30-automatic-grinder-polisher.php>

### 3.4 Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el ensayo de dureza en metales ferrosos de temple y revenido

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA ENSAYO DE DUREZA BAJO TEMPLE Y REVENIDO EN METALES FERROSOS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

#### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Tratamiento térmico del material del acero AISI O1 K460 y AISI 4340
- Práctica no. 5
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 8 h

#### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Ensayo de templabilidad y revenido para metales ferrosos.
- Justificación:** Conocer los niveles de dureza con distintos tipos de tratamientos térmicos.
- Objetivo General**

Realizar un ensayo de templado y revenido de los aceros AISI O1 K460 y AISI 4340 para conocer las propiedades de dureza del material.

- Objetivos Específicos**

- Desarrollar un procedimiento ordenado que deben alcanzar las probetas sometidas a tratamientos térmicos de temple y revenido.
- Establecer parámetros para temperaturas de calentamiento y tiempos de operación durante los procesos de temple y revenido.
- Determinar los niveles de dureza que pueden obtener las probetas bajo tratamientos térmicos de temple y revenido.

#### 3. MARCO TEÓRICO

El horno para tratamiento térmico de temple tiene un sistema de aislamiento mediante ladrillos refractarios que sirven para resistir elevadas temperaturas y

operaciones con condiciones extremas de trabajo, los hornos de cámara para temple, recocido y soldadura pueden llegar hasta temperaturas de 1280°C, además poseen un mínimo consumo de energía por su sistema aislante. La cámara de calentamiento tiene un interior amplio y su transmisión de calor se encuentra en las paredes laterales y la parte inferior [43].

#### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

- a. Probeta de acero AISI O1 K460
- b. Probeta de acero AISI 4340
- c. Horno de temple
- d. Horno de revenido
- e. Durómetro
- f. Equipo de protección personal (EPP)

#### **5. PROCEDIMIENTO**

##### **1. Medir las durezas de las probetas de acero**

Para el primer procedimiento se debe calibrar el durómetro con una carga preestablecida de 150 kgf para medir las durezas en HRC de las probetas de acero O1 K460 y AISI 4340.

##### **2. Configuración de parámetros para el horno de temple**

Para este ensayo de templabilidad es necesario insertar los parámetros para el calentamiento del horno hasta que llegue a una temperatura optima de 780 °C.

##### **3. Ingreso de las probetas al horno**

En este proceso una vez que el horno ya se encuentre configurado con los parámetros de calentamiento, se debe ingresar las probetas en la cámara del horno y se debe mantener a las probetas durante un tiempo de 1:20 h entre una temperatura de 820 °C.

##### **4. Salida de las probetas**

Una vez que culmine el tiempo del proceso de calentamiento de la probeta se debe usar el equipo de protección y sujeción de probetas para ensayos de temple y revenido para retirar las probetas del horno.

## 5. Ensayo de templabilidad

Para el ensayo de templado se debe verificar que el compartimento del aceite se encuentre hasta el nivel de referencia indicado junto con el soporte de muestras para colocar las probetas de manera rápida apenas salgan del horno y estas deben ser sumergidos por completo de manera constante durante 2 minutos como se indica en la figura 83.



**Figura 83.** Templado de probeta con aceite DURIXOL W 25

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 6. Medición de dureza del ensayo de temple

En este proceso se debe sacar la probeta del aceite que estaba sumergida y limpiarla hasta quitar todo el aceite que se encuentra en la probeta para, la probeta debe estar colocada de manera vertical con el mayor diámetro hacia abajo y para ascender la probeta hacia la punta de medición del durómetro se debe girar el mando en sentido antihorario.

## 7. Preparación del horno proceso de revenido

Para esta operación se utiliza las mismas probetas que se usaron para el temple y se cambia hacia el método de configuración hacia el horno de revenido que se debe una temperatura de 250 °C durante 1 hora.

## 8. Ensayo de revenido

Para el ensayo de revenido las probetas se deben enfriar a temperatura ambiente durante un tiempo de 20 minutos.

## 9. Medición de dureza del ensayo de revenido

El proceso para medir la dureza en el revenido es el mismo procedimiento que el ensayo de temple y se debe repetir el proceso de medida.

## 6. RESULTADOS

- a. Probetas con tratamiento térmico de templabilidad
- b. Probetas con tratamiento térmico de revenido
- c. Resultados de dureza de las probetas, ver en la tabla 29.

**Tabla 29. Durezas en HRC del acero AISI O1 K460 y acero AISI 4340**

Material	Sin tratamiento térmico	Temple	Revenido
Acero AISI O1 K460	57.2	64.0	60.1
Acero AISI 4340	30.1	55.2	51.7

Tabla de las durezas en Rockwell C para el temple y revenido de los aceros AISI O1 K460 y AISI 4340, Fuente: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Tabla 29 se puede identificar las distintas medidas de dureza en Rockwell C (HRC) que se realizaron para el ensayo en el durómetro del acero AISI O1 K460 y AISI 4340 sin tratamiento térmico y con tratamientos térmicos aplicados en el horno de temple y revenido.

## 7. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un procedimiento con operaciones secuenciales para la aplicación de tratamientos térmicos en probetas de metales ferrosos donde se inicia con un ensayo de templabilidad para las dos probetas con aceite DURIXOL W 25 para luego continuar con el ensayo de revenido con enfriamiento a temperatura ambiente.
- Se estableció parámetros para los ensayos de temple y revenido con valores óptimos de operación que para el tratamiento térmico de templado se utilizó una temperatura de calentamiento de 800 °C durante 1 hora con 20 minutos y para el tratamiento térmico de revenido se utilizó una temperatura de calentamiento de 250 °C durante 1 hora para reducir la dureza que se obtuvo durante el ensayo de templabilidad.
- Se determinó los niveles de dureza que se obtuvieron en los ensayos de temple y revenido para comparar los datos de los tratamientos térmicos con su dureza inicial y como resultado se tiene un promedio de dureza para el acero AISI O1



K460 en el temple es de 64 HRC y el revenido de 60.1 HRC y para el acero AISI 4340 para el temple es de 55.2 HRC y revenido de 51.7 HRC con un resultado que destaca que los ensayos de temple y revenido se realizaron de manera correcta porque el nivel de dureza estándar aumentaron durante los dos procesos de tratamiento térmico.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para el ensayo de templabilidad es necesario que la probeta quede completamente vertida en el aceite durante su proceso de enfriamiento y debe ser lo más pronto posible a penas se complete su periodo de tiempo de calentamiento en el horno de temple para que se obtengan mejores propiedades de dureza.
- Antes de empezar el ensayo de dureza en el durómetro se debe calibrar los estándares de medida y la precarga que se a utilizar, así como el sistema de medida de dureza que se desea obtener.
- Es recomendable que el ensayo de templabilidad se realice primero por el tiempo que de operación que le toma al horno llegar hasta la temperatura necesaria contrario al ensayo de revenido que tiene un menor tiempo de operación.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

[https://www.nabertherm.com/produkte/labor/laboratory\\_spanish.pdf](https://www.nabertherm.com/produkte/labor/laboratory_spanish.pdf)

[https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor\\_gluehaerteofen#prod1pos](https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor_gluehaerteofen#prod1pos)

<https://www.fermetsac.com/producto/barras-aisi-4340/>

[https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/thermprozesstechnik\\_2-haerteoel](https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/thermprozesstechnik_2-haerteoel)

<https://ggdmetals.com.br/es/produto/aisi-o1/>

## CAPÍTULO IV

### COSTOS

#### 4. Costos de los ensayos metalográficos

En las siguientes tablas se representan los costos de cada práctica de laboratorio incluyendo los equipos metalográficos, el material, los elementos de limpieza, protección y las probetas.

**Tabla 30. Costos para la práctica de corte automático**

Producto	Costo (USD)	Cantidad	Total (USD)
Probeta de acero AISI 1018	8.00	1	8.00
Probeta de aluminio Prodax	6.00	1	6.00
Probeta de bronce fosfórico SAE 40	10.00	1	10.00
Disco abrasivo 15 LC de diamante 7 in	100.00	1	100.00
Refrigerante Fluido Cool 3	80.00	1	80.00
Mandril de una montura	120.00	1	120.00
Equipo de limpieza para la máquina cortadora	80.00	1	80.00
TOTAL			404.00

Tabla de costos para ensayo del corte metalográfico, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 31. Costos para el ensayo de la composición química de metales ferrosos**

<b>Producto</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (USD)</b>
Probeta de acero AISI 1018	8.00	1	8.00
Equipo de limpieza para el medidor espectral	40.00	2	80.00
TOTAL			88.00

Tabla de los costos para el ensayo en el espectrofotómetro, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 32. Costos para el ensayo de encapsulado por compresión**

<b>Producto</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (USD)</b>
Probeta de acero AISI 1018	8.00	1	8.00
Probeta de aluminio Prodax	6.00	1	6.00
Probeta de bronce fosfórico SAE 40	10.00	1	10.00
Compuesto de montaje PhenoCure	180.50	1	180.50
Equipo para limpieza del pistón inferior	32.80	1	32.80
TOTAL			237.30

Tabla de los costos para el ensayo del encapsulado de probetas de metales ferrosos y no ferrosos, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 33. Costos para la preparación de muestra metalográfica**

<b>Producto</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (USD)</b>
Probeta de acero AISI 1018	8.00	1	8.00
Probeta de aluminio Prodax	6.00	1	6.00
Probeta de bronce fosfórico SAE 40	10.00	1	10.00
Lijas adhesivas CarbiMet de 8 in, grano de 180, 240, 600	45.00	1	45.00
Alúmina	50.00	1	50.00
Paños adhesivos DGD Ultra 8 in color rojo	120.00	1	120.00
Equipo para ataque químico	135.00	1	135.00
<b>TOTAL</b>			<b>374.00</b>

Tabla de los costos para la preparación de muestras metalográficas de metales ferrosos y no ferrosos,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 34. Costos para el ensayo de temple y revenido**

<b>Producto</b>	<b>Costo (USD)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (USD)</b>
Probeta de acero AISI O1 K460	13.00	1	13.00
Probeta de acero AISI 4340	8.00	1	8.00
Aceite Durixol W 25	250.00	1	250.00
<b>TOTAL</b>			<b>271.00</b>

Tabla de los costos para el ensayo de dureza de metales ferrosos bajo tratamientos térmicos de temple y revenido, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**Tabla 35. Costos totales**

<b>Ensayo</b>	<b>Costo (USD)</b>
Práctica de corte	404.00
Espectrofotómetro	88.00
Encapsulado	237.30
Probeta metalográfica	374.00
Temple y revenido	271.00
<b>TOTAL</b>	<b>1,374.30</b>

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

Para todas las prácticas de laboratorio el costo que se empleó para la “ELABORACIÓN DE UNA PRÁCTICA RECOMENDADA EN PROCESOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES FERROSOS Y NO FERROSOS PARA LOS EQUIPOS DE LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA” es de valor un aproximado de 1,374.30 USD, estos costos incluyen el valor de las probetas necesarias para realizar cada una de las prácticas como se representa en las tablas 30, 31, 32, 33 y 34.

#### **4.1 Análisis financiero del proyecto**

##### **4.1.1 Valor actual neto (VAN)**

Para el cálculo del valor actual neto (VAN) se realizó una descomposición de valores en ingresos y egresos como se muestra en la tabla 36, con ello conseguimos mediante una sustracción entre los egresos e ingresos, el flujo neto de caja (FNC).

Con el FNC se procede a calcular el VAN mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{p=1}^n \frac{FNC}{(1+i)^p} \quad (1)$$

Donde:

FNC: El flujo neto de caja.

i: Interés para la inversión.

p: Periodos.

n: Número de Periodo.

Io: Inversión inicial.

En caso de que la magnitud del valor del VAN otorgue un resultado negativo, se considera que el proyecto no posee algún beneficio, para el caso presente este valor concuerda debido a que solamente se realizan prácticas metalográficas sin obtener alguna ganancia monetaria.

**Tabla 36. Cálculo del VAN con i=10%**

<b>Periodo</b>	<b>Egresos</b>	<b>Ingresos</b>	<b>FNC</b>
1	\$204.00	\$350.00	\$146.00
2	\$215.00	\$300.00	\$85.00
3	\$135.00	\$200.00	\$65.00
4	\$250.00	\$350.00	\$100.00
TOTAL	\$804.00	\$1200.00	\$396.00
VAN		\$679.89	

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **4.1.2 Tasa interna de retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno expresa si un proyecto puede ser viable para invertir, la (TIR) se calcula igualando el (VAN) a una magnitud de “0”, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$TIR = 0 = \sum_{p=1}^n \frac{FNC}{(1+i)^p} \quad (2)$$

Donde:

FNC: El flujo neto de caja.

i: Interés para la inversión.

p: Periodos.

n: Número de Periodo.

Io: Inversión inicial.

En la Tabla 37 se representa el cálculo del (TIR) con el respectivo (FNC) de cada periodo.

**Tabla 37. Cálculo del TIR**

<b>Criterio</b>	<b>Costo (USD)</b>
Inversión inicial	-1200
FNC periodo 1	146
FNC periodo 2	85
FNC periodo 3	65
FNC periodo 4	100
TIR	-30%

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **4.1.3 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)**

Para el periodo de recuperación de la inversión (PRI) es necesario estimar un número de periodos junto con los flujos de caja existentes por periodo y un flujo de caja acumulado como se representa en la Tabla 38.

**Tabla 38. Periodo de recuperación**

<b>Periodo</b>	<b>Flujos de caja por periodo</b>	<b>Flujo de caja acumulado</b>
1	-1000	-1000
2	350	-650
3	300	-350
4	350	0
PRI	4	

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

El cálculo del PRI estima que dentro del 4<sup>to</sup> periodo la inversión se recuperará.



## CONCLUSIONES

1. Se elaboró una práctica recomendada para procesos de caracterización de materiales ferrosos y no ferrosos, utilizando los equipos disponibles en el laboratorio de metalografía de la Universidad Politécnica Salesiana, esto fue posible mediante la realización de ensayos metalográficos que consisten en la obtención de: muestras de la estructura metalográfica para acero AISI 1018, bronce fosfórico SAE 40 y aluminio Prodax bajo la normativa ASTM E3-95, ASTM E350, ASTM E3-1962 y ASTM E1351-96; la determinación de la composición química del acero AISI 1018 bajo la normativa ASTM E3-95 y finalmente la ejecución de un ensayo de dureza para los aceros AISI O1 K460 y AISI 4340 bajo la normativa ASTM E18-03 .
2. Se caracterizó la composición química del acero AISI 1018 mediante una espectroscopia obtenida en el espectrofotómetro OXFORD Instruments, para el acero AISI 1018 la composición química está definida por la magnitud existente de porcentaje en C, Fe, Si, S, Mn; durante la comparación realizadas entre el resultado obtenido de la espectroscopia y los datos de la especificación técnica del material según SUMINDU S.A., el error porcentual existente de Fe fue de 0.2% mientras que el error porcentual de S fue de 0.25%, para el Si, Mn, y C el porcentaje encontrado por la espectroscopia se encontraba dentro de un rango definido por norma ASTM E350, determinando que el acero AISI 1018 cumplía con la evaluación química realizada. Es importante mencionar que el equipo OXFORD Instruments, no cuenta con la licencia para realizar una evaluación con metales no ferrosos, por ello tomó en consideración al AISI 1018 como el único metal disponible para este ensayo.
3. Se determinó las instrucciones y parámetros a seguir para obtener muestras metalográficas del acero AISI 1018, Bronce fosfórico SAE 40 y aluminio Prodax, para ello se realizó varios ensayos de corte bajo norma dentro de la cortadora automática IsoMet Buehler para encontrar que la velocidad de corte para acero AISI 1018 es de 2000 RPM con un avance de 5 mm/min y un tiempo de corte 3 min, para Aluminio Prodax se obtuvo una velocidad de 4000 RPM con un avance de 7 mm/min y un tiempo de corte 2 min 30 segundos, para el bronce se consiguió

una velocidad de corte 2000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de corte de 1 min 50 segundos.

4. Se estableció los parámetros para el desbaste grueso en la pulidora semiautomática EcoMet 30, para ello se realizó ciertos ensayos tomando como referencia los parámetros establecidos en la norma ASTM E3-11 donde dicha norma especifica que con un tamaño de grano abrasivo de 180-240-600, la velocidad del disco portalijs como la velocidad del disco porta muestras deben estar en 250 RPM y 75 RPM respectivamente siguiendo la misma dirección o sentido de giro, aplicando una fuerza uniforme de 25 N durante 1 minuto y 30 segundos, en cambio para el desbaste fino se identificó que se debe utilizar lijas con un tamaño de grano abrasivo de 1200, 1500, 2000 y 2500, considerando que se debe mantener una sola dirección de desbaste y la constante limpieza de partículas residuales en las superficies.
5. Se observó la estructura metalográfica del acero AISI 1018, Bronces SAE 40 y aluminio Prodax, mediante la utilización del procedimiento de ataque químico recomendado por el METAL HANDBOOK y la posterior visualización en un microscopio invertido Buehler ViewMet, para el ataque se utilizó los agentes químicos Picral, Nital y Keller para aleaciones de bronce, aceros y aluminios respectivamente, la cantidad y el tiempo de ataque especificado para cada uno de ellos fue de 30, 20 y 40 segundos para bronce, acero y aluminio, posteriormente se utilizó el microscopio invertido para obtener una visualización de la estructura metalográfica en una ampliación de 20x.

## **RECOMENDACIONES**

1. Visualizar el compartimiento de refrigerante para poder realizar una evaluación sobre el estado de este, en caso de que existiera muchas impurezas dentro del líquido refrigerante, proceder a reemplazar siguiendo las instrucciones especificadas por el proveedor.
2. Descartar las tres primeras medidas para poder obtener mejores resultados durante el desarrollo de la práctica por criterios de calibración del espectrofotómetro.
3. Mantener sellada la prensa de montaje durante 15 segundos por motivos de seguridad aún después de terminar el proceso de compresión en caliente, posterior se puede levantar el pistón con normalidad mediante los controles manuales hasta que el compartimento se desbloquee por completo.
4. Establecer una magnitud media para un rango establecido de parámetros de operación normalizados durante la caracterización de la probeta metalográfica.
5. Considerar una distancia mínima entre el horno y el operador para evitar lesiones generadas por las elevadas temperaturas durante el desarrollo de la práctica de temple y revenido.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. E. Carraher, «Introduction to Polymers,» de *Polymer Chemistry*, Florida, CRC Press, 2010, pp. 3-10.
- [2] Disheco, «Disheco Suministros Industriales,» Disheco, 2020. [En línea]. Available: <http://www.disheco.com/productos/metrologia-y-control-de-calidad/ensayos/metalografia/fungible/encapsulado-metalografico/>. [Último acceso: 23 Diciembre 2020].
- [3] I. Palazún Bru, L. López Lozano, A. Palazón Bru, M. Arroyo Fernández y M. González-Estecha, «Procedimiento de validación de un método para cuantificar cromo en suero por espectroscopía de absorción atómica con atomización electrotérmica,» *Elsevier*, vol. VIII, nº 1, pp. 52-57, 2015.
- [4] L. Godino Fernández , I. Pombo Rodilla, J. Sánchez Galíndez y E. Iturbe Zabalo, «Caracterización del desgaste de grano en el rectificado con muelas de alúmina monocristal,» de *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, Bilbao, 2014.
- [5] Klingspor, «Klingspor,» Klingspor Abrasivos, SA de CV, 2020. [En línea]. Available: <https://www.klingspor.mx/nociones-en-abrasivos/tipos-de-grano>. [Último acceso: 26 Diciembre 2020].
- [6] W. F. Llumiquinga Chicaiza y J. L. Quispe Bonifas, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO METALOGRÁFICO PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI*, Latacunga, 2016.
- [7] I. Montero, «Función y uso del metal,» de *Los metales en la antigüedad*, Madrid, CSIC Catarata, 2014, pp. 65-80.
- [8] I. Montero, «Los inicios de la metalurgia,» de *Los metales en la antigüedad*, Madrid, CSIC Catarata, 2014, pp. 13-24.
- [9] E. A. Lascano Constante, *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO A TERMO-COMPRESIÓN DE DIFERENTES POLÍMEROS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL MONTAJE DE PROBETAS METALOGRÁFICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA*, Ambato, 2016.
- [10] J. D. Carvajal Gualoto y J. A. Garzón Andrade, *EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DUREZA DEL ACERO AISI/SAE 4140, TRATADO TÉRMICAMENTE POR TEMPLE Y REVENIDO*, Quito, 2019.
- [11] L. F. Ortiz Cardona, A. F. Pulido Jaramillo y D. H. Mesa Grajales, «CARACTERIZACIÓN MECÁNICA, METALOGRÁFICA Y

TRIBOLÓGICA DE UN BUJE METÁLICO DEL CABLE AÉREO DE MANIZALES,» *Scientia et Technica* Año XVIII, n° 20, pp. 1-5, 2016.


- [12] M. P. Groover, «Materiales de la ingeniería,» de *Fundamentos de manufactura moderna*, Madrid, McGraw-Hill, 2007, pp. 91-213.
- [13] V. Blazques, V. Lorenzo y B. Del Río López, «Clasificación de los aceros, aceros de construcción,» de *Ingeniería y ciencia de los materiales metálicos*, Madrid, Dextra, 2014, pp. 333-358.
- [14] M. A. Gualoto Guacollante y J. F. Panchi Concha, *DETERMINACIÓN DE DUREZA EN EL MATERIAL AISI 5115 SOMETIDO A TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTADO Y NITRURADO*, Quito, 2019.
- [15] M. P. Groover, J. E. Aguirre, U. Figueroa y F. J. Sandoval, *INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE MANUFACTURA*, México: McGraw Hill, 2012.
- [16] M. P. Groover, J. E. Aguirre, U. Figueroa y F. J. Sandoval, *FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING*, New York: John Wiley & Sons, 2012.
- [17] W. D. Callister y D. G. Rethwisch, *MATERIALS SCIENCE and ENGINEERING*, Danvers: Wiley, 2014.
- [18] A. C. Palos Zuñiga, M. d. J. Soria Aguilar y S. Valtierra Gallardo, «Aleaciones de aluminio A-319 T6 en la industria automotriz,» *Ciencia cierta*, n° 48, pp. 1-5, 2016.
- [19] W. A. Pancho Ramírez, *ESTUDIO DEL EFECTO DEL HIERRO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO-SILICIO (A356)*, Quito, 2018.
- [20] C. M. Méndez, V. Scheiber, M. Parra, A. Roman, R. Rozicki y A. E. Ares, «ELECTROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF Zn-Sn ALLOYS HORIZONTALLY DIRECTIONALLY SOLIDIFIED,» *ANALES AFA*, vol. XXIV, n° 2, pp. 47-51, 2012.
- [21] P. Sojo Cardozo, «ESTAÑO: TRANSCENDENCIA MUNDIAL,» *Revista de Química*, vol. XXXIII, n° 2, pp. 17-18, 2019.
- [22] C. F. Botello Villa, *MANUFACTURA Y PROCESAMIENTO DE ALEACIONES NANOESTRUCTURADAS ZINC-NÍQUEL POR MOLIENDA MECÁNICA*, Atizapán de Zaragoza, 2016.
- [23] O. Pinilla Navarro, A. Siado Guillen, C. C. Cely Bautista, I. Romero Mejia y J. Jaramillo Colpas, «Caracterización microestructural de la aleación de titanio Ti6Al4V oxidada térmicamente,» *PROSPECTIVA*, vol. XVI, n° 2, pp. 68-74, 2018.

- [24] F. Serrano Santamaría, *Comportamiento en servicio de aleaciones de Titanio obtenidas por pulvimetalurgia*, Valladolid, 2018.
- [25] R. Dražumerič, J. Badger, R. Roininen y P. Krajnik, «On geometry and kinematics of abrasive processes: The theory of aggressiveness,» *ELSEVIER*, vol. XVI, n° 2, pp. 68-74, 2020.
- [26] J. M. Cabrero Armijo, «Sistemas y maquinarias industriales de mecanizado,» de *Operaciones de mecanizado por medios automáticos*, IC Editorial, 2018, pp. 300-332.
- [27] S. B. Castaño, E. Rivera, C. A. Rodríguez, A. Jaramillo, E. Zuleta y N. T. Zapata, «HERRAMIENTAS DE CORTE MANUAL PARA EL SECTOR DEL CUERO,» *SENNOVA*, pp. 10-38, 2019.
- [28] N. Ortega, V. Martynenko, D. Perez, D. Martinez Krahmer, L. N. López de Lacalle y E. Ukar, «Abrasive Disc Performance in Dry-Cutting of Medium-Carbon Steel,» *Metals*, vol. X, n° 4, pp. 2-12, 2020.
- [29] J. Alfaro Méndez, Á. Sánchez Rodríguez, C. R. Aguilar Nájera, L. Pérez González y S. Murillo Luna, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUJECCIÓN PARASISTEMATIZAR EL CORTE POR ASERRADO DE PIEZASMETÁLICAS TRATADAS TERMICAMENTE,» *Pistas Educativas*, vol. XL, n° 130, pp. 1329-1339, 2018.
- [30] F. A. Fiallos López, *Repotenciación de la máquina pulidora utilizada para ensayos metalográficos del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*, Ambato, 2019.
- [31] I. Olmo Rendón, *Estudio metalográfico de aceros empleados para impartir docencia en Ingeniería de Materiales*, Sevilla, 2017.
- [32] V. B. Córdova Hernández, *DISEÑO Y EVALUACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN ESPECTRAL E HIPERESPECTRAL PARA APLICACIÓN EN LA PIROMETALURGIA DEL COBRE*, Concepción, 2019.
- [33] C. Zhang, Z. Song, Z. Liu, C. Yang, Q. Cheng y M. Liu, «Tribological properties of flexspline materials regulated by micrometallographic structure,» *ELSEVIER*, n° 127, pp. 177-186, 2018.
- [34] BUEHLER, «BUEHLER,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.buehler.com.es/isoMet-high-speed.php>. [Último acceso: 13 Agosto 2020].
- [35] Neurtek instruments, «Neurtek,» 14 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.neurtek.com/es/academia/metalografia-preparacion-de-muestras/cuales-son-los-pasos-a-tener-en-cuenta-en-una-preparacion-de-muestras>. [Último acceso: 2 Septiembre 2020].

- [36] OXFORD INSTRUMENTS , «PEDECA PRESS,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.pedeca.es/oxford-instruments-foundry-master-xpert/>. [Último acceso: 4 Septiembre 2020].
- [37] Neurtek, «NEURTEK instruments,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.neurtek.com/es/metalografia-plastico/prensa-metalografica/opal-x-press>. [Último acceso: 16 Septiembre 2020].
- [38] Buehler, «Buehler,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.buehler.com.es/simpliMet-4000-mounting-press.php>. [Último acceso: 31 Agosto 2020].
- [39] R. Yang, Z. Qi, Y. Gao, J. Yang, Y. Zhou, H. Liu, L. Peng y J. Jiao, «Effects of alumina sols on the sintering of  $\alpha$ -alumina ceramics,» *Elsevier*, nº 46, pp. 20865-20870, 2020.
- [40] Buehler, «Buehler,» 14 Enero 2020. [En línea]. Available: [https://buehler.com.ar/wp-content/uploads/2020/03/2020-Product-Catalog\\_es-la-HR-1\\_.pdf](https://buehler.com.ar/wp-content/uploads/2020/03/2020-Product-Catalog_es-la-HR-1_.pdf). [Último acceso: 5 Septiembre 2020].
- [41] Buehler, «Buehler,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.buehler.com.es/ecoMet-30-automatic-grinder-polisher.php>. [Último acceso: 25 Agosto 2020].
- [42] Buehler, «Buehler,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.buehler.com.es/viewmet-inverted-microscope.php>. [Último acceso: 2 Septiembre 2020].
- [43] Nabertherm, «Nabertherm,» Nabertherm GmbH, 2020. [En línea]. Available: [https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor\\_gluehaerteofen#prod1pos](https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor_gluehaerteofen#prod1pos). [Último acceso: 10 Septiembre 2020].

## ANEXOS

Anexo 1. Guía de práctica para ensayo metalográfico del laboratorio de metalografía de la Universidad Politécnica Salesiana

 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR</b>	<b>LABORATORIO DE INGENIERIAS</b>
	<b>LABORATORIO DE METALOGRAFIA</b>

<b>PRÁCTICA Nº</b>	<b>TIEMPO ESTIMADO</b>	<b>TEMA</b>	<b>DOCENTE</b>
<b>1</b>	<b>180 min</b>	<b>CARACTERIZACION DE ALEACIONES Fe-C.</b>	<b>ING. MILTON JAMI</b>

Nombre: .....

Fecha: .....

Nivel.....

### 1 DATOS DE LA PRÁCTICA

**TEMA** Caracterizar probetas de Aceros Aleados, AISI 4340, AISI D3, AISI 1018, AISI 5115, AISI 7210, AISI D6.

### 2 OBJETIVO GENERAL

- Aplicar los procedimientos para desarrollar prácticas de metalografía.
- Conocer el funcionamiento de máquinas y equipos metalográficos.

### 3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Preparar la probeta de la Aleación indicada en los laboratorios de máquinas herramientas de la UPS.
- Seguir un procedimiento ordenado para alcanzar una probeta sometida a observación metalográfica
- Adquirir algunas nociones acerca de las propiedades de las fases presentes en las aleaciones Fe-C



- Establecer diferencias visuales entre cada una de estas fases en base a las imágenes observadas por medio del microscopio óptico.
- Diferenciar el tamaño de grano, así como el límite y el tipo de granos presentes en la captura de la imagen.
- Manipular los reactivos para cada material.
- Manipular el microscopio metalográfico.

#### **4 EQUIPO Y MATERIALES**

- Banco de lijas de desbaste
- Banco de lijas de pulido
- Máquina pulidora de paño
- Reactivos químicos para revelar probetas
- Línea de aire para secado de probetas
- Microscopio Metalográfico.
- Software para capturar imagen.

#### **5 MARCO TEÓRICO**

Debe responder en forma de párrafos a las preguntas expuestas:

- Aceros aleados, para cada caso.
- Elementos de aleación para cada caso
- Límites de grano
- Tamaño de granos
- Tipos de grano.
- Microestructuras en Atlas Metalográfico.

#### **6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

- Preparación de la muestra.
- Desbaste de la muestra
- Pulido intermedio en banco de lijas desde la lija N°120 hasta la lija N.º 1500.
- Pulido fino en la pulidora de paño.
- Utilizar el reactivo químico indicado según normas, para realizar el ataque a cada material.
- Secar probeta.
- Observar microestructura en el microscopio metalográfico.
- Capturar imagen.
- Realizar comparación y discusión de resultados.
- Realizar informe de práctica.

#### **7 RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIAL CONSUMIBLE)**

<b>CANTIDAD</b>	<b>ELEMENTO</b>

## **8 REGISTRO DE RESULTADOS**


- Realizar comparación de resultados de cada material en el atlas metalográfico

## **9 CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES**

## **10 ANEXOS**

## **11 BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA**

Anexo 2. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el proceso de corte automático en metales ferrosos y no ferrosos.

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL ENSAYO DE CORTE AUTOMÁTICO EN PROBETAS METALOGRÁFICAS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

## 1. DATOS INFORMATIVOS

- Corte metalográfico de las probetas acero AISI 1018, aluminio Prodax, bronce fosfórico SAE 40.
- Práctica no. 1
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 60 min

## 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Corte de muestras metalográficas
- Justificación:** Establecer parámetros para el corte en la dimensión de la probeta mediante la cortadora automática IsoMet Buehler.
- Objetivo General**

Conocer el funcionamiento de la cortadora automática Buehler IsoMet de alta velocidad para el corte de metales ferrosos y no ferrosos en las probetas según la norma ASTM E3-95 para el ensayo metalográfico.
- Objetivos Específicos**
  - Identificar parámetros de funcionamiento de la cortadora para el acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40.
  - Verificar que el tipo de disco abrasivo sea de diamante 15 LC de 7 in de diámetro para procesos de corte con metales de uso general.
  - Seleccionar velocidades de corte y avances para el proceso de corte de materiales ferrosos y no ferrosos.

### 3. MARCO TEÓRICO

En el corte de las muestras para el ensayo metalográfico de las probetas se establece un proceso de análisis según el tipo de material para que no genere una excesiva fricción entre el disco de corte y la probeta para evitar discontinuidades en la estructura y propiedades del metal. Las cortadoras metalográficas utilizan distintos discos de corte para que la probeta no sufra ningún tipo de imperfecciones durante el proceso de rectificado y corte.

### 4. MATERIALES Y EQUIPOS

- a. Probeta acero AISI 1018
- b. Probeta aluminio Prodax
- c. Probeta bronce fosfórico SAE 40
- d. Cortadora automática Buehler IsoMet de alta velocidad
- e. Disco de corte de diamante 15 LC 7 in de diámetro
- f. Equipo de protección personal (EPP)

### 5. PROCEDIMIENTO

#### a. Sujeción de la probeta en la mesa de trabajo de la cortadora y selección de disco de corte

Para este proceso se verifica las dimensiones de la probeta para rectificar con las medidas nominales de la cortadora cuya capacidad de diámetro de la muestra es de 71 mm y un rango de longitud de corte de 1-184 mm.



**Figura 1. Mandril de una montura para cortadora automática, Fuente: BUEHLER.**

Para la sujeción de la muestra de la probeta con un diámetro de 11 mm se tiene un mandril de una montura con una apertura para muestras de hasta 38 mm de diámetro como se muestra en la Figura 1.



**Figura 2. Sujeción de la probeta con el mandril**, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

Para la sujeción de la muestra en la Figura 2 es necesario que se encuentre fija y se ajuste con un playo de presión el mandril de una montura para que la probeta no tenga ningún tipo de movimiento durante el proceso de corte.

**Tabla 1. Cuchillas abrasivas para cortadora automática IsoMet**

<b>Materiales</b>	<b>Tamaño del disco</b>
Acero de herramienta, acero duro, HRC45 en adelante	Disco AcuThin 5 in (127 mm)
Acero blando, duro medio, hasta HRC45	Disco AcuThin 5 in (127 mm)
Materiales no ferrosos suaves, duros	Disco AcuThin 7 in (178 mm)
Materiales resistentes y uso general	Disco AcuThin 5.9 in (150 mm)
Materiales duros frágiles y uso general	Disco de diamante 15 LC 7 in (178 mm)

Tabla de las clasificaciones del tamaño de los discos abrasivos AcuThin y diamante según el tipo de material. Fuente: Buehler.

En la Tabla 1 se establece el tamaño del diámetro del disco abrasivo para la cortadora automática que se recomienda para una serie de materiales y el que se encuentra disponible en el laboratorio para la cortadora metalográfica es el disco de diamante 15 LC de 7 in (178 mm).

**Tabla 2. Parámetros para velocidades de corte y avance de la cortadora**

Material	Velocidad del disco (RPM)	Avance (mm /min)
Acero de baja aleación, AISI 1018, 1045, 4140 y 4340	1500 – 2000	5
Bronce	2000 – 3000	7
Aluminio	3500 – 4000	5 – 7

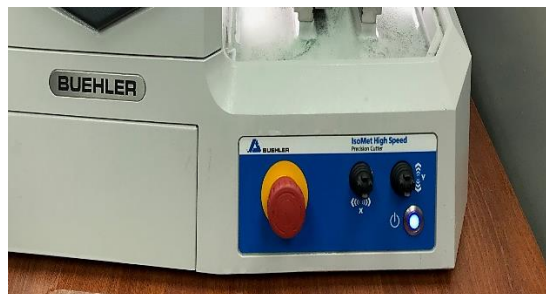
Tabla de parámetros recomendados para la velocidad de corte y el avance de la cortadora metalográfica.  
Fuente: ASTM E3-95.

En la tabla 2 se muestra los parámetros de corte y avance que se recomiendan para el proceso de corte automático en las probetas metalográficas para ciertos tipos de materiales. Para el caso de los aceros el tiempo de operación de corte es de 3 min, para el aluminio un tiempo de operación de 2 min y 30 segundos, para el bronce el proceso de corte tiene un tiempo de 1 min y 50 segundos.

#### **b. Configuración de parámetros para el corte**

Para la configuración de los parámetros se tiene en la cortadora metalográfica un panel táctil con pantalla LCD para insertar las variables de operación y en este procedimiento se debe seguir las siguientes indicaciones para un corte automático.

1. Con los controladores manuales de precisión que se encuentran a lado del paro de emergencia con dirección en ejes x, y se debe encontrar el cero pieza de la probeta y alinearla con el disco de corte.



**Figura 3.** Controladores manuales de precisión en ejes x, y.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

- Insertar la velocidad de corte en RPM según los valores de la tabla 2 y presionar en el visto para guardar los cambios.



**Figura 4.** Menú de la velocidad nominal de la cuchilla en RPM. Fuente: BUEHLER.

- Luego de insertar las RPM se debe ingresar el avance del disco de corte según los valores de la tabla 2 y presionar el visto para guardar los cambios.



**Figura 5.** Menú del avance del disco abrasivo en in/min. Fuente: BUEHLER.

- En el menú principal de la pantalla de la cortadora verificar que el encendido del refrigerante se encuentre activado y para eso se presiona el ícono de “off” y después presionar el icono de PLAY para ejecutar la operación de corte.



**Figura 6.** Menú principal de la pantalla de inicio de la cortadora metalográfica. Fuente: BUEHLER.

## 5. Extracción de la probeta

Una vez que se culmine el proceso de corte se debe levantar la bandeja de seguridad para que el programa se suspenda y así extraer la probeta del mandril de una montura.



**Figura 7.** Extracción de la probeta del mandril de una montura  
Elaborado por: Favio Silva, Victor Idrovo.

## 6. Verificación de medidas

Cuando la probeta se extrae del mandril sujetador se debe verificar que las medidas sean las correctas para que en el caso de que no cumpla con lo estimado se debe repetir el procedimiento desde el primer paso.



## 6. RESULTADOS

En la Figura 8 se puede apreciar los resultados del proceso de corte para los materiales de acero 1018, aluminio y bronce fosfórico con el disco de diamante 15 LC con diámetro de 7 in (178 mm) y configuración de parámetros según la tabla 2. En cada probeta se realizó un corte a lo largo de la longitud de 0.2 in (5 mm), necesario para el encapsulado y un corte de 0.059 in (1.5 mm).



**Figura 8.** Corte de probetas metalográficas: a. Aluminio Prodax, b. Acero AISI 1018, c. Bronce fosfórico SAE 40, Elaborado por: Favio Silva, Víctor Idrovo.

## 7. CONCLUSIONES

- Se identificó los tipos de parámetros que se deben considerar para el proceso de corte de la muestra metalográfica en base a la norma para preparación de probetas metalográficas que recomienda el fabricante en la cortadora automática IsoMet de alta velocidad.
- Se reconoció que el disco abrasivo de diamante 15 LC de 7 in de diámetro se encuentra disponible para los procesos de corte que sirve para cualquier tipo de material que se vaya a utilizar.
- Se estableció los parámetros de velocidad y avance recomendados bajo norma para los procesos de corte de distintos metales y para el acero AISI 1018 se tiene una velocidad de 2000 RPM con avance de 5 mm/min y un tiempo de operación de 2 min y 30 segundos, para el aluminio Prodax se obtuvo un corte con una velocidad de 4000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de operación de 1 min y 50 segundos, para el bronce fosfórico se obtuvo un corte con una velocidad

de 2000 RPM con avance de 7 mm/min y un tiempo de operación de 1 min y 50 segundos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- La cortadora automática IsoMet de alta velocidad es recomendable que tenga un juego de discos abrasivos de alta precisión CBN y AcuThin para el corte de materiales duros.
- Es importante que a partir de cada corte con probetas diferentes se vuelva a encontrar el origen de desplazamiento automático para el corte para así lograr disminuir los tiempos de operación.


## **9. BIBLIOGRAFÍA**

<https://www.neurtek.com/es/academia/metalografia-preparacion-de-muestras/cuales-son-los-pasos-a-tener-en-cuenta-en-una-preparacion-de-muestras>

<https://www.buehler.com.es/isoMet-high-speed-pro.php>

[https://www.oshma.com.ar/vscomunicacion/catalogos/BUEHLER\\_FN01517\\_IsoMet.pdf](https://www.oshma.com.ar/vscomunicacion/catalogos/BUEHLER_FN01517_IsoMet.pdf)

Anexo 3. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía en el espectrofotómetro para metales ferrosos

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL ESPECTROFOTÓMETRO
LABORATORIO	METALOGRAFÍA	
CARRERA	MECÁNICA	
SEDE	QUITO, CAMPUS SUR	

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Espectroscopia del material del acero AISI 1018
- Práctica no. 2
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 3 h

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Análisis de la composición química del metal en el espectrofotómetro.
- Justificación:** Preparar la probeta para realizar la medición de ondas espectral del material.
- Objetivo General**

Reconocer la composición química del acero AISI 1018 mediante el uso del espectrofotómetro en base a la norma ASTM E350 para comprobar el tipo de metal que se solicita.
- Objetivos Específicos**
  - Preparar el equipo de análisis y medición del espectrofotómetro.
  - Conocer el porcentaje de la desviación estándar que tiene el acero AISI 1018 entre cada uno de sus componentes.
  - Comparar los datos obtenidos en el espectrofotómetro con los valores estándar de la composición química del material.

### 3. MARCO TEÓRICO

El espectrofotómetro es una máquina de análisis espectroscopio con emisión óptica que tiene como objetivo en brindar resultados muy precisos según el tipo de metal de análisis, además posee detectores para que se identifique el tipo de material con su composición interna con otros metales como son el hierro, silicio, manganeso,

cromo, níquel, aluminio, entre otros. Esta máquina posee un alcance espectral que cubre de 130 a 180 nanómetros para cualquier tipo de metal.

## **5. MATERIALES Y EQUIPOS**

- a. Probeta acero AISI 1018
- b. Espectrofotómetro OXFORD Instruments
- c. Pulidora semiautomática de doble plato Buehler
- d. Equipo de limpieza para el medidor espectral
- e. Equipo de protección personal (EPP)

## **6. PROCEDIMIENTO**

### **a. Realizar un vaciado de gases con la bomba del espectrofotómetro**

Para el primer procedimiento se debe encender la bomba de vacío que se encuentra en el compartimento abajo del espectrofotómetro y verificar el tipo de gas que se debe utilizar antes de usar el espectrofotómetro en el cual el laboratorio de metalografía dispone de un gas noble argón de grado 5.

### **b. Limpieza de la punta generadora espectral**

En este proceso se debe limpiar la boquilla de electrones donde se encuentra la punta que mide las ondas espectrales en la superficie del metal, por recomendación se debe repetir ese mismo proceso por cada tres mediciones para tener datos más exactos en la composición química del material.

### **c. Pulir la superficie de la probeta**

En la pulidora semiautomática de doble plato se realiza el proceso del pulido superficial de la probeta donde se va a realizar la medida espectral del metal.

### **d. Colocar la probeta en el soporte de muestras**

En este procedimiento se debe abrir el sujetador de muestras para colocar la probeta en un punto que cubra por completo el orificio donde se encuentra el generador de chispas y se regula de manera manual el medidor según la altura de la probeta que mide el rango espectral que se emite con el material.

### e. Análisis de la composición del metal en la superficie

Presionar el botón de START del espectrofotómetro para que inicie la operación y se recomienda tomar por lo menos tres medidas para encontrar una variación estándar que debe ser menor al 5% entre su composición para que los datos sean válidos.

## 6. RESULTADOS

Después de que el generador espectral realiza las medidas en distintos puntos de la superficie de la probeta, se obtiene el resultado que cada compuesto que se encuentra en el metal y debe ser comparado con la composición de la ficha técnica.

FMX 52U0016		Optik 52U0017					
Sample :							
Alloy : FE_100		Grade : 1.7131					
Mode :		GS 25/11/2020 12:57:44					
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
4	98.5	0.186	0.173	L 0.907	0.0148	H 0.0572	L 0.0234
5	98.5	H 0.190	0.170	L 0.903	0.0152	H 0.0570	L 0.0237
6	98.5	H 0.192	0.174	L 0.917	0.0149	H 0.0562	L 0.0243
10	98.5	H 0.191	0.170	L 0.910	0.0152	H 0.0551	L 0.0230
11	98.5	0.186	0.168	L 0.886	0.0148	H 0.0535	L 0.0231
Average	98.5	0.189	0.171	L 0.904	0.0150	H 0.0558	L 0.0235
	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti
4	0.0018	0.0335	0.0017	0.0032	0.0621	< 0.0005	0.0024
5	0.0022	0.0352	0.0020	0.0032	0.0644	< 0.0005	0.0019
6	0.0022	0.0343	0.0023	0.0041	0.0641	< 0.0005	0.0021
10	0.0021	0.0349	0.0018	0.0032	0.0592	< 0.0005	0.0023
11	0.0023	0.0346	0.0020	0.0029	0.0600	< 0.0005	0.0022
Average	0.0021	0.0345	0.0020	0.0033	0.0620	< 0.0005	0.0022
	V	W	Pb	Sn	B	Ca	Zr
4	0.0012	< 0.0100	0.0041	0.0031	0.0015	0.0011	0.0062
5	0.0012	< 0.0100	0.0041	0.0032	0.0014	0.0007	0.0060
6	0.0009	< 0.0100	0.0040	0.0033	0.0015	0.0006	0.0059
10	0.0015	< 0.0100	0.0039	0.0026	0.0016	0.0005	0.0056
11	0.0006	< 0.0100	0.0041	0.0031	0.0016	0.0006	0.0058
Average	0.0011	< 0.0100	0.0040	0.0030	0.0015	0.0007	0.0059
	Zn	Bi	As	Se	Sb		
4	0.0021	0.0153	0.0039	0.0108	0.0034		
5	0.0022	0.0138	0.0041	0.0109	0.0057		
6	0.0021	0.0138	0.0042	0.0103	0.0063		
10	0.0022	0.0140	0.0037	0.0105	0.0066		
11	0.0020	0.0150	0.0043	0.0108	0.0074		
Average	0.0021	0.0144	0.0040	0.0107	0.0059		

**Figura 1.** Datos obtenidos del análisis del acero AISI 1018 en el espectrofotómetro,

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Figura 1 se representa la composición porcentual de los datos obtenidos del espectrofotómetro de las mediciones del acero AISI 1018 a distintos puntos.

En la Tabla 1 se identifica el error porcentual que se obtiene al comparar el promedio de las medidas con los valores bajo normal del acero AISI 1018.

**Tabla 1. Comparación de la composición química del material del ensayo y bajo norma**

<b>Elemento</b>	<b>Hierro</b>	<b>Carbono</b>	<b>Silicio</b>	<b>Manganeso</b>
Promedio	98.5	0.187	0.170	0.899
Valores bajo norma	98.7	0.15 - 0.2	0.15 - 0.35	0.6 - 0.9
Error porcentual	0.20	----	----	----

Tabla de medidas de la composición química del acero AISI 1018 del ensayo del espectrofotómetro,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## **7. CONCLUSIONES**

- Se preparó la configuración de funcionamiento del espectrofotómetro y la posición de la probeta con parámetros que se establecen en el catálogo del fabricante.
- Se conoció las desviaciones estándar que tiene el acero AISI 1018 en todos sus elementos en base a las tres mediciones en distintos puntos de la superficie del metal.
- Se comparó los resultados obtenidos de la composición química del acero AISI 1018 y se tiene un rango de desviación estándar menor al 5% el cual es aceptable para comprobar que el ensayo es correcto.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para la obtención de datos en el ensayo del espectrofotómetro es de preferencia tomar mínimo tres datos de medida para calcular un promedio entre los elementos para obtener datos más precisos.
- Por cada tres puntos de medidas que realice el espectrofotómetro se debe limpiar el sujetador de la probeta y la punta espectral generadora.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

<https://www.astm.org/Standards/E350.htm>

<https://www.pedeca.es/oxford-instruments-foundry-master-xpert/>

<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E3-11.htm>

Anexo 4. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para la prensa de montaje con metales ferrosos y no ferrosos

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL ENCAPSULADO DE METALES FERROSOS Y NO FERROSOS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

### 1. DATOS INFORMATIVOS

- Encapsulado del acero AISI 1018, aluminio Prodax, bronce fosfórico SAE 40
- Práctica no. 3
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 60 min

### 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Encapsulado con la prensa de montaje de metales ferrosos y no ferrosos.
- Justificación:** Preparar el material para el proceso de montaje por compresión.
- Objetivo General**

Realizar un proceso de montaje por compresión con la máquina encapsuladora bajo parámetros de funcionamiento con metales ferrosos y no ferrosos.
- Objetivos Específicos**
  - Conocer el funcionamiento de la máquina encapsuladora.
  - Identificar los tipos de compuestos de montaje que se deben utilizar para el aluminio PRODAX, acero AISI 1018 y bronce fosfórico SAE 40.
  - Establecer parámetros para mantener la calidad de los bordes del encapsulado según la norma ASTM E3-1962.

### 3. MARCO TEÓRICO

El encapsulado se realiza en el caso de que el material no tenga el tamaño necesario para el análisis de toda su estructura con estudios de dureza, para esto las prensas de montaje poseen compuestos para adaptar mediante compresión estas muestras de metal. Este proceso se realiza en caliente para obtener un mejor acabado en los bordes de los compuestos, además esta es una operación menos costosa en comparación a otros procesos de montaje.

#### 4. MATERIALES Y EQUIPOS

- a. Probeta de acero AISI 1018
- b. Probeta de aluminio Prodax
- c. Probeta de bronce fosfórico SAE 40
- d. Prensa de montaje Buehler SimpliMet 4000
- e. Compuesto de montaje por compresión PhenoCure
- f. Equipo para limpieza de la prensa de montaje
- g. Equipo de protección personal (EPP)

#### 5. PROCEDIMIENTO

##### a. Identificar el panel de control de la prensa de montaje

En la figura 1 se puede visualizar el panel de control con todas las funciones que se necesitan para realizar el encapsulado de las probetas.



**Figura 1.** Panel de control de la prensa de montaje automática SimpliMet 4000

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

##### b. Elevar el pistón de la muestra

Para este proceso se debe presionar el botón de EXTEND de la figura 1 para que el pistón se eleve hasta la parte superior, una vez que el pistón se haya elevado por completo se debe colocar la probeta en el centro de muestras.



**c. Descender el pistón**

Presionar el botón de RETRACT que se encuentra en el panel de control para que el pistón vaya descendiendo y como recomendación pulse el botón durante 2 segundos para que el pistón baje automáticamente.

**d. Medir la longitud de la muestra encapsulada**

Para este procedimiento se debe usar un calibrador para medir la longitud que se necesita para las muestras encapsuladas en caso de realizar un proceso de pulido es recomendable que la longitud de la muestra sea de 50 mm.

**e. Agregar el compuesto de montaje**

Una vez que el pistón se encuentre descendido se debe agregar el compuesto de montaje PhenoCure y la cantidad del compuesto se debe agregar hasta la parte pulida del pistón inferior como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Vertido del PhenoCure en el compartimento de la muestra

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**f. Cerrar la compuerta del molde superior**

Una vez que se encuentre llenado el compuesto de montaje se debe mantener presionado el botón de RETRACT hasta que el pistón inferior descienda por completo y luego cerrar la compuerta del molde.

**g. Configurar parámetros para tiempos de calentamiento y enfriamiento**

Para el calentamiento se debe mantener presionado el botón de HEAT TIME hasta que la pantalla parpadee, con los botones de +, - que se encuentra en el panel de control se pulsan para aumentar o disminuir el tiempo de calentamiento de calentamiento que va a depender del tipo de material y el tamaño de la muestra.

En el enfriamiento es recomendable activar la función de SMART COOL para asegurar una temperatura optima de montaje con un uso mínimo de agua, los tiempos de operación para el calentamiento y enfriamiento se encuentran en la tabla 1.

**Tabla 1. Parámetros de montaje para muestras con diámetro de 1 in**

<b>Compuesto de montaje</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Presión</b>	<b>Tiempo de calentamiento</b>	<b>Tiempo de enfriamiento</b>
PhenoCure	180° C	290 bar	1 min y 30 seg.	2 min y 30 seg.

Tabla de parámetros para un molde individual de 220 V en la encapsuladora Buehler SimpliMet 4000. Fuente: BUEHLER.

#### **h. Iniciar el proceso de encapsulado**

Una vez que todos los parámetros se encuentren insertados se procede a iniciar el proceso de encapsulado y para esto se debe presionar el botón de START para que todos los indicadores entren funcionamiento, los tiempos de calentamiento y enfriamiento, así como los botones de operación ante cualquier emergencia se encuentran en el panel de control como se identifica en la figura 1.

#### **i. Retirar el encapsulado de la prensa de montaje**

Cuando el proceso del encapsulado se culmine, la prensa de montaje por compresión emitirá un sonido para verificar que el proceso ha terminado y después hay que tener presionado el botón de EXTEND para que se eleve el pistón de manera automática y luego desbloquear la tapa del molde para retirar la muestra encapsulada.

## **6. RESULTADOS**

En la Figura 3 se puede identificar el encapsulado de las tres probetas con acero AISI 1018, aluminio Prodax y bronce fosfórico SAE 40, el molde tiene un diámetro de 25 mm y una longitud de 50 mm, estas medidas en específico se utilizan para realizar procesos de pulido en las pulidoras semiautomáticas.



**Figura 3.** Encapsulado de las probetas de acero AISI 1018, aluminio Produx, bronce fosfórico SAE 40, Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 7. CONCLUSIONES

- Se conoció el funcionamiento de la prensa de montaje con métodos de operación a distintos voltajes y componentes de montaje que pueden variar las características del encapsulado.
- Se identificó que el compuesto de montaje PhenoCure que se encuentra es recomendado por el fabricante para uso general para una amplia variedad de materiales ferrosos y no ferrosos.
- Se estableció los parámetros de operación para metales de uso general con 290 bar de presión, 180° C de temperatura de calentamiento y un tiempo de calentamiento y enfriamiento de 1:30 min y 2:30 min respectivamente.

## 8. RECOMENDACIONES

- Para cada proceso de encapsulado es recomendable realizar una limpieza dentro y fuera del pistón inferior para evitar que fragmentos del material se adhieran a la superficie del metal en un nuevo encapsulado.
- Los parámetros de encapsulado pueden variar de acuerdo con el tamaño del diámetro de la muestra y es necesario que se verifique los valores preestablecidos.

## 9. BIBLIOGRAFÍA


<https://www.neurtek.com/es/metalografia-plastico/prensa-metalografica/opal-x-press>

<http://www.cenim.csic.es/index.php/laboratorios-de-investigacion/213-metalografia>

<https://www.buehler.com.es/simpliMet-4000-mounting-press.php>

<https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=Prensa%20de%20montaje&>

Anexo 5. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el ensayo metalográfico con metales ferrosos y no ferrosos

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA EL ENSAYO METALOGRÁFICO EN METALES FERROSOS Y NO FERROSOS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

## 1. DATOS INFORMATIVOS

- Ensayo metalográfico del acero AISI 1018, aluminio Produx, bronce fosfórico SAE 40
- Práctica no. 4
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 6 h

## 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Preparación de probetas metalográficas ferrosas y no ferrosas.
- Justificación:** Preparar el desbaste y pulido de la superficie de las probetas para visualizar la microestructura del metal en el microscopio.
- Objetivo General**

Preparar las probetas metalográficas mediante procesos de desbaste, pulido y ataque químico para la visualización de la microestructura de la superficie del metal en el microscopio según la norma ASTM E1351-96.
- Objetivos Específicos**
  - Identificar el tipo de lijas utilizadas para el desbaste fino y grueso.
  - Establecer parámetros recomendados para el pulido con lijas adhesivas y en paño de las probetas según la norma ASTM E3-11.
  - Realizar un ataque químico con nital 2%, keller's y aleaciones de cobre en la superficie de las probetas en base a la norma ASTM E407-99 según el tipo de metal para observar la microestructura de la probeta en el microscopio metalográfico.

### **3. MARCO TEÓRICO**

La metalografía se utiliza para visualizar la microestructura y tamaño del grano de una probeta según el tipo de metal. La muestra de la probeta sigue una serie de procesos antes de llegar al microscopio y pasa por una serie de análisis que se cuantifican en variables de medición en parámetros de corte y desbaste hasta que la superficie de la probeta cuente con una forma plana con el punto de contacto y definir un ataque químico para eliminar cualquier tipo de imperfecciones, seguido de un proceso de secado con un paño de seda para verificar la estructura en el microscopio metalográfico.

### **5. MATERIALES Y EQUIPOS**

- a. Banco de lijas
- b. Lijas número 1000, 1200, 1500, 2000 y 2500
- c. Lijas adhesivas CarbiMet de 180, 240 y 600
- d. Probeta encapsulada de acero AISI 1018
- e. Probeta encapsulada de aluminio Produx
- f. Probeta encapsulada de bronce fosfórico SAE 40
- g. Retenedor de vanguardia para probetas encapsuladas
- h. Alúmina
- i. Máquina para pulido con paño semiautomática Buehler EcoMet 30
- j. Equipo para ataque químico
- k. Microscopio invertido Buehler ViewMet
- l. Franela
- m. Guantes
- n. Equipo de protección personal (EPP)

### **6. PROCEDIMIENTO**

#### **a. Insertar las lijas adhesivas en las pulidoras semiautomáticas**

Pegar las lijas adhesivas CarbiMet de carburo de silicio de 8 in de diámetro con un tamaño de grano de 180, 240 y 600 en el plato de la pulidora semiautomática.

#### **b. Configurar parámetros de la pulidora semiautomática**

En este proceso cada parámetro de operación debe ser modificado en el panel táctil de control de la pulidora, para seleccionar una operación se debe pulsar

el icono de funcionamiento y para ir aumentando o disminuyendo los valores se debe pulsar las flechas de arriba o abajo de ser el caso.

En la tabla 1 se representa los valores de velocidad del disco y velocidad de porta muestras para el proceso de pulido con tipo de lija CarbiMet que es de uso general para metales ferrosos y no ferrosos.

**Tabla 1. Parámetros de operación para desbaste grueso en metales de uso general**

Superficie	Abrasivo/Tamaño	Velocidad del disco RPM	Velocidad del porta muestras RPM	Dirección plato/porta muestras	Fuerza (N)	Tiempo (min)
CarbiMet	SiC/180-240-600 enfriado con agua	250	50	Igual	25	1:30

Tabla de parámetros de operación para desbaste grueso en probetas de metales de uso general. Fuente: ASTM E3-11.

**c. Realizar el proceso del desbaste grueso**

1. Colocar el retenedor de vanguardia en la probeta encapsulada.
2. Ingresar la probeta dentro del porta muestras con la superficie del metal en dirección vertical hacia la lija adhesiva, el retenedor de vanguardia de diámetro de 1 in (25 mm) se sujeta en la parte superior de la probeta encapsulada y después se coloca en el porta muestras.
3. Establecer los parámetros de operación con valores que se encuentren entre los rangos que se detallan en la tabla 1.
4. Para iniciar el proceso primero se debe mantener presionado los dos botones de color verde que se encuentran en la parte superior del brazo del porta muestras durante 2 segundos hasta que el porta muestras descienda hasta la superficie de la lija y volver a presionar los botones para iniciar el proceso como se representa en la figura 1.



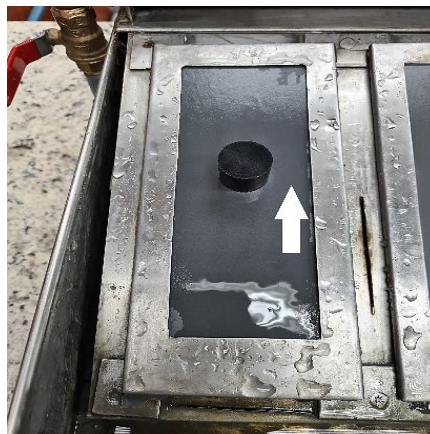
**Figura 1.** Botones para el accionamiento de los pistones y descenso del porta muestras.

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

5. Una vez que el tiempo de pulido culmine, los pistones y el porta muestras de manera automática van a elevarse y a partir de ahí se puede retirar la probeta encapsulada.

**d. Pulido fino en el banco de lijas**

El proceso del pulido fino se necesita que la probeta obtenga una superficie espejo y para esto la probeta debe pasar por un pulido con lijas de 1000, 1200, 1500, 2000 y 2500 para esta operación se debe mantener un movimiento constante hacia arriba en contacto con la lija como se indica en la figura 2, es importante que el vertido de agua también sea constante durante el proceso de pulido.



**Figura 2.** Guía de movimiento para el pulido fino en el banco de lijas

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

**e. Pulido con paño**

Para el proceso del pulido con paño se utiliza la alúmina que se debe humedecer con un 7 % de agua por cada gramo del compuesto, para el pulido en paño se cambia la lija adhesiva por una tela de paño DGD Ultra de color rojo.

En la Tabla 2 se muestra el tipo de superficie del paño para el pulido con su respectivo abrasivo recomendado y su velocidad relativa de operación.

**Tabla 2. Valores de operación para el pulido en paño para metales ferrosos y no ferrosos**

Superficie/Abrasivo	Lubricante	Velocidad del disco RPM	Velocidad del porta muestras RPM	Dirección plato/porta muestras	Fuerza (N)	Tiempo (min)
DGD Rojo/Alúmina	Agua	150	30	Igual	35	5

Tabla de parámetros para pulido en paño con superficie abrasiva de uso general para metales, Fuente: Buehler.

**f. Ataque químico**

Se utiliza la cantidad de nital hasta que cubra por completo la superficie de la probeta, que por lo general son dos gotas de aplicación del compuesto químico en la superficie del metal.

**Tabla 3. Reactivos para ataque químico en superficie de probetas de metales ferrosos y no ferrosos**

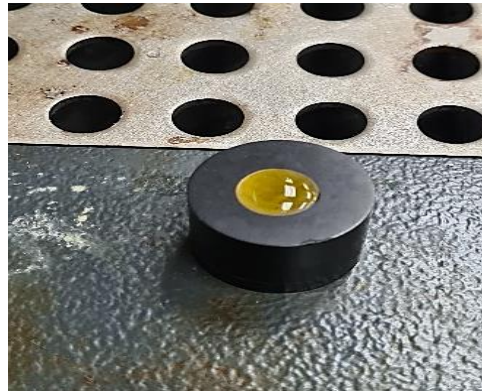
Ataque	Aplicación	Tiempo (seg)
Nital 2%	Uso para revelar límites de grano de ferrita para aceros de medio y alto carbono.	30
Nital 4%	Uso para revelar límites de grano de ferrita para aceros de alto carbono.	20
Cobre y sus aleaciones	Uso para revelar límites de grano en aleaciones de cobre.	30
Keller's	Uso para revelar límites de grano en aleaciones de aluminio.	40

Tabla de los reactivos para ataque químico en probetas de metales ferrosos y no ferrosos, Fuente: ASM HANDBOOK.



En la Tabla 3 se muestra algunas características para metales ferrosos y no ferrosos con relación al ataque químico en la superficie del metal a base de composición del nital, keller's y aleaciones de bronce según la norma ASTM E340-00 para el ataque químico según el material de la probeta.

En la figura 3 se puede visualizar el ataque químico del Picral en la superficie del bronce fosfórico SAE 40.



**Figura 3.** Ataque químico de la probeta de bronce fosfórico SAE 40

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### **g. Observación microscópica**

La observación en el microscopio metalográfico se lo realiza con su sistema de iluminación para ver la estructura del metal y el límite de grano con aumentos del lente del plan acromático de 5x, 10x, 20x, 30x, 40x y 100x. Después de la visualización en la pantalla se realiza una captura de imagen para que se guarde en la computadora para que ser comprobada a los especímenes que establece la norma ASTM E1351-96.

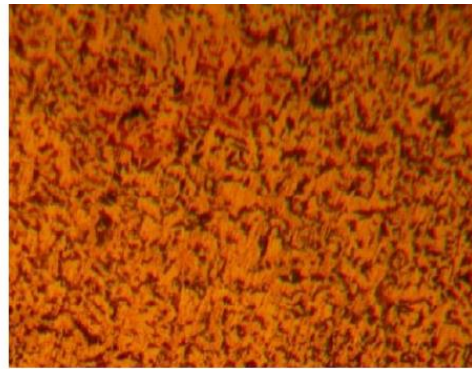
## **6. RESULTADOS**

1. Probetas con proceso de pulido semiautomático de desbaste grueso.
2. Acabado de las probetas con el pulido fino del banco de lijas.
3. Pulido en paño con el abrasivo alúmina, ver en la Figura 4.



**Figura 4.** Pulido en paño en la superficie de la probeta de aluminio Prodax,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

4. Ataque químico de las probetas.
5. Captura de la superficie en el microscopio metalográfico, ver en la figura 5.



**Figura 5.** Microestructura metalográfica del acero AISI 1018,  
Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## 7. CONCLUSIONES

- Se identificó que para el desbaste grueso se debe utilizar las lijas adhesivas recomendadas por el fabricante desde un tamaño de grano de 180, 240 y 600 en las pulidoras semiautomáticas, así como el pulido fino con lijas de 1200, 1500, 2000 y 2500 manteniendo una sola posición de lijado y vertido de agua.
- Se estableció parámetros recomendados para la operación de la máquina pulidora con lijas adhesivas CarbiMet para el desbaste grueso con una velocidad del plato nominal de 250 RPM y velocidad de giro del porta muestras de 50 RPM, los dos deben girar en el mismo sentido durante un periodo de tiempo de 1 min y 30 segundos.

- Se realizó un ataque químico variando el porcentaje de nital en la probeta según la cantidad concentrada que recomienda el manual metalográfico ASM HANDBOOK.

## **8. RECOMENDACIONES**

- En el banco de lijas debe existir una comodidad de trabajo para que el desbaste grueso y el pulido fino obtenga una mejor calidad de acabado.
- En el proceso de pulido no se recomienda utilizar más de dos probetas en cada paño de pulido y desbaste por los residuos que quedan al momento de lijar un material distinto a otro.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Yang, R., Qi, Z., Gao, Y., Yang, J., Zhou, Y., Liu, H.,... Jiao, J. (2020). Efectos de los soles de alúmina en la sinterización de cerámicas de  $\alpha$ -alúmina. Ceramics International. doi: 10.1016 / j.ceramint.2020.05.125

[https://www.neurtek.com/descargas/neurtek\\_guia\\_consumibles\\_metalograficos\\_es.pdf](https://www.neurtek.com/descargas/neurtek_guia_consumibles_metalograficos_es.pdf)

<https://matensayos.webcindario.com/tecnicametalografica/reactivos.pdf>


<https://tecmicro.es/wp-content/uploads/2018/01/tec-metalografia-2018.pdf>

<https://www.buehler.com.es/nikon-lv150n-eclipse-upright-microscope.php>

<https://www.buehler.com.es/viewmet-inverted-microscope.php>

<https://www.buehler.com.es/ecoMet-30-automatic-grinder-polisher.php>

Anexo 6. Guía de práctica elaborada en el laboratorio de metalografía para el ensayo de dureza en metales ferrosos de temple y revenido

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA <b>SALESIANA</b> ECUADOR		GUÍA DE PRÁCTICA PARA ENSAYO DE DUREZA BAJO TEMPLE Y REVENIDO EN METALES FERROSOS
<b>LABORATORIO</b>	METALOGRAFÍA	
<b>CARRERA</b>	MECÁNICA	
<b>SEDE</b>	QUITO, CAMPUS SUR	

## 1. DATOS INFORMATIVOS

- Tratamiento térmico del material del acero AISI O1 K460 y AISI 4340
- Práctica no. 5
- Número de estudiantes por grupo 12
- Tiempo estimado 8 h

## 2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- Tema:** Ensayo de templabilidad y revenido para metales ferrosos.
- Justificación:** Conocer los niveles de dureza con distintos tipos de tratamientos térmicos.
- Objetivo General**

Realizar un ensayo de templado y revenido de los aceros AISI O1 K460 y AISI 4340 para conocer las propiedades de dureza del material.

- Objetivos Específicos**

- Desarrollar un procedimiento ordenado que deben alcanzar las probetas sometidas a tratamientos térmicos de temple y revenido.
- Establecer parámetros para temperaturas de calentamiento y tiempos de operación durante los procesos de temple y revenido.
- Determinar los niveles de dureza según la norma ASTM E18-03 que pueden obtener las probetas bajo tratamientos térmicos de temple y revenido.

## 3. MARCO TEÓRICO

El horno para tratamiento térmico de temple tiene un sistema de aislamiento mediante ladrillos refractarios que sirven para resistir elevadas temperaturas y

operaciones con condiciones extremas de trabajo, los hornos de cámara para temple, recocido y soldadura pueden llegar hasta temperaturas de 1280°C, además poseen un mínimo consumo de energía por su sistema aislante. La cámara de calentamiento tiene un interior amplio y su transmisión de calor se encuentra en las paredes laterales y la parte inferior.

## **5. MATERIALES Y EQUIPOS**

- a. Probeta de acero AISI O1 K460
- b. Probeta de acero AISI 4340
- c. Horno de temple
- d. Horno de revenido
- e. Durómetro
- f. Equipo de protección personal (EPP)

## **6. PROCEDIMIENTO**

### **1. Medir las durezas de las probetas de acero**

Para el primer procedimiento se debe calibrar el durómetro con una carga preestablecida de 150 kgf para medir las durezas en HRC de las probetas de acero O1 K460 y AISI 4340.

### **2. Configuración de parámetros para el horno de temple**

Para este ensayo de templabilidad es necesario insertar los parámetros para el calentamiento del horno hasta que llegue a una temperatura optima de 780 °C.

### **3. Ingreso de las probetas al horno**

En este proceso una vez que el horno ya se encuentre configurado con los parámetros de calentamiento, se debe ingresar las probetas en la cámara del horno y se debe mantener a las probetas durante un tiempo de 1:20 h entre una temperatura de 820 °C.

### **4. Salida de las probetas**

Una vez que culmine el tiempo del proceso de calentamiento de la probeta se debe usar el equipo de protección y sujeción de probetas para ensayos de temple y revenido para retirar las probetas del horno.

## **5. Ensayo de templabilidad**

Para el ensayo de templado se debe verificar que el compartimento del aceite se encuentre hasta el nivel de referencia indicado junto con el soporte de muestras para colocar las probetas de manera rápida apenas salgan del horno y estas deben ser sumergidos por completo de manera constante durante 2 minutos como se indica en la figura 1.



**Figura 1.** Templado de probeta con aceite DURIXOL W 25

Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

## **6. Medición de dureza del ensayo de temple**

En este proceso se debe sacar la probeta del aceite que estaba sumergida y limpiarla hasta quitar todo el aceite que se encuentra en la probeta para, la probeta debe estar colocada de manera vertical con el mayor diámetro hacia abajo y para ascender la probeta hacia la punta de medición del durómetro se debe girar el mando en sentido antihorario.

## **7. Preparación del horno proceso de revenido**

Para esta operación se utiliza las mismas probetas que se usaron para el temple y se cambia hacia el método de configuración hacia el horno de revenido que se debe una temperatura de 250 °C durante 1 hora.

## **8. Ensayo de revenido**

Para el ensayo de revenido las probetas se deben enfriar a temperatura ambiente durante un tiempo de 20 minutos.

## **9. Medición de dureza del ensayo de revenido**

El proceso para medir la dureza en el revenido es el mismo procedimiento que el ensayo de temple y se debe repetir el proceso de medida.

## 7. RESULTADOS

- a. Probetas con tratamiento térmico de templabilidad
- b. Probetas con tratamiento térmico de revenido
- c. Resultados de dureza de las probetas, ver en la tabla 1.

**Tabla 1. Durezas en HRC del acero AISI O1 K460 y acero AISI 4340**

Material	Sin tratamiento térmico	Temple	Revenido
Acero AISI O1 K460	57.2	64.0	60.1
Acero AISI 4340	30.1	55.2	51.7

Tabla de las durezas en Rockwell C para el temple y revenido de los aceros AISI O1 K460 y AISI 4340, Fuente: Victor Idrovo, Favio Silva.

En la Tabla 1 se puede identificar las distintas medidas de dureza en Rockwell C (HRC) que se realizaron para el ensayo en el durómetro del acero AISI O1 K460 y AISI 4340 sin tratamiento térmico y con tratamientos térmicos aplicados en el horno de temple y revenido.

## 7. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un procedimiento con operaciones secuenciales para la aplicación de tratamientos térmicos en probetas de metales ferrosos donde se inicia con un ensayo de templabilidad para las dos probetas con aceite DURIXOL W 25 para luego continuar con el ensayo de revenido con enfriamiento a temperatura ambiente.
- Se estableció parámetros para los ensayos de temple y revenido con valores óptimos de operación que para el tratamiento térmico de templado se utilizó una temperatura de calentamiento de 800 °C durante 1 hora con 20 minutos y para el tratamiento térmico de revenido se utilizó una temperatura de calentamiento de 250 °C durante 1 hora para reducir la dureza que se obtuvo durante el ensayo de templabilidad.
- Se determinó los niveles de dureza que se obtuvieron en los ensayos de temple y revenido para comparar los datos de los tratamientos térmicos con su dureza inicial y como resultado se tiene un promedio de dureza para el acero AISI O1

K460 en el temple es de 64 HRC y el revenido de 60.1 HRC y para el acero AISI 4340 para el temple es de 55.2 HRC y revenido de 51.7 HRC con un resultado que destaca que los ensayos de temple y revenido se realizaron de manera correcta porque el nivel de dureza estándar aumentaron durante los dos procesos de tratamiento térmico.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para el ensayo de templabilidad es necesario que la probeta quede completamente vertida en el aceite durante su proceso de enfriamiento y debe ser lo más pronto posible a penas se complete su periodo de tiempo de calentamiento en el horno de temple para que se obtengan mejores propiedades de dureza.
- Antes de empezar el ensayo de dureza en el durómetro se debe calibrar los estándares de medida y la precarga que se a utilizar, así como el sistema de medida de dureza que se desea obtener.
- Es recomendable que el ensayo de templabilidad se realice primero por el tiempo que de operación que le toma al horno llegar hasta la temperatura necesaria contrario al ensayo de revenido que tiene un menor tiempo de operación.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

[https://www.nabertherm.com/produkte/labor/laboratory\\_spanish.pdf](https://www.nabertherm.com/produkte/labor/laboratory_spanish.pdf)

[https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor\\_gluehaerteofen#prod1pos](https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/labor_gluehaerteofen#prod1pos)

<https://www.fermetsac.com/producto/barras-aisi-4340/>

[https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/thermprozessechnik\\_2-haerteoel](https://www.nabertherm.com/produkte/details/es/thermprozessechnik_2-haerteoel)

<https://ggdmetals.com.br/es/produto/aisi-o1/>



### Anexo 7. Proceso de corte metalográfico



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### Anexo 8. Proceso de encapsulado



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### Anexo 9. Proceso de pulido semiautomático



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### Anexo 10. Pulido fino en el banco de lijas



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### Anexo 11. Ensayo en el espectrofotómetro



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### Anexo 12. Equipo para ataque químico



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### Anexo 13. Estructura microscópica para el ensayo metalográfico



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

### Anexo 14. Ingreso de probetas al horno de temple



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

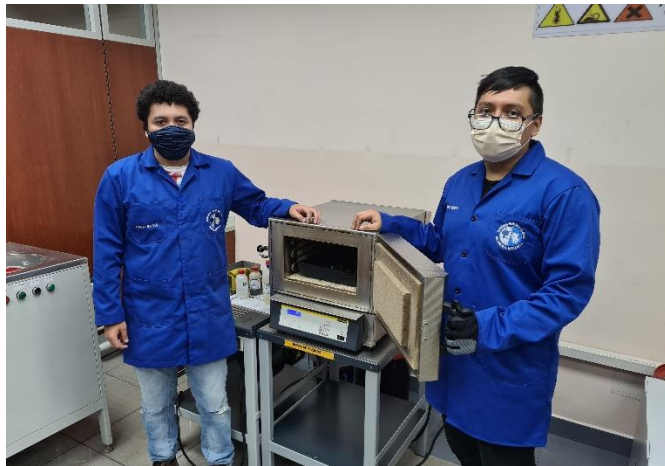
### Anexo 15. Ensayo de templado en aceite



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.



#### Anexo 16. Ingreso de probetas al horno de revenido



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.

#### Anexo 17. Ensayo de dureza



Elaborado por: Victor Idrovo, Favio Silva.